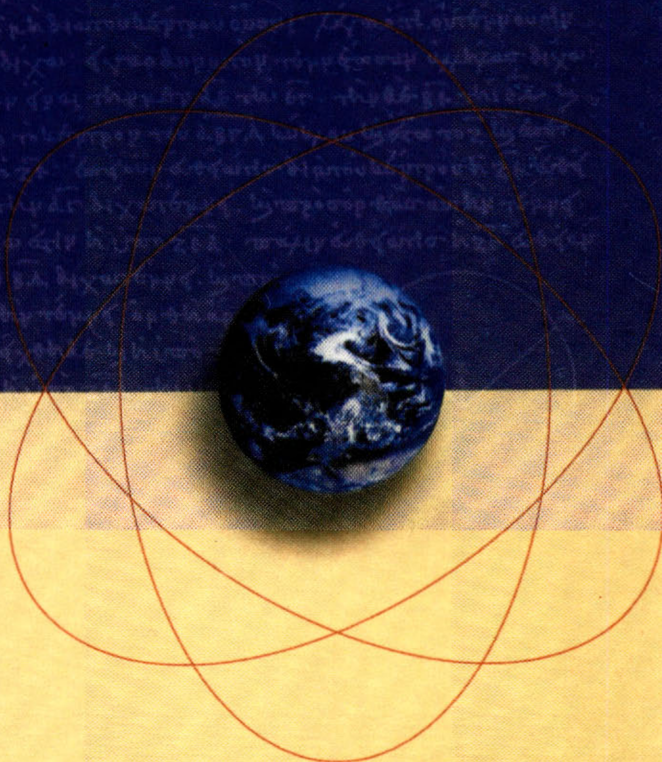
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΙΣΤΟΡΙΑ

Των Επιστημών και της Τεχνολογίας

Γ΄ Τάξη Γενικού Λυκείου



ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ

ΓΕΝΙΚΗ ΠΑΙΔΕΙΑ

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Στοιχεία από την ιστορία των Μαθηματικών, της Αστρονομίας, της Φυσικής, της Χημείας και της Τεχνολογίας

Γ' ΤΑΞΗ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

Συγγραφείς

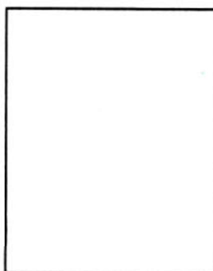
Θεόδωρος Αραμπατζής, λέκτορας Πανεπιστημίου Αθηνών
Κώστας Γαβρόγλου, καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών
Δημήτρης Διαλέτης, καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών
Γιάννης Χριστιανίδης, λέκτορας Πανεπιστημίου Αθηνών
Νίκος Κανδεράκης, καθηγητής Β/βάθμιας Εκπαίδευσης
Στέλιος Βερνίκος, καθηγητής Β/βάθμιας Εκπαίδευσης

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ - ΑΘΗΝΑ 1999

Εποπτεία στο Πλαίσιο του Παιδαγωγικού Ινστητούτου:
Δημήτριος Καραγεώργος, σύμβουλος Π.Ι.
Γλωσσική Επιμέλεια: **Ασημίνα Αναγνωστοπούλου**
Κριτές: **Ευγενία Κολέζα**,
Επίκουρος Καθηγήτρια Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
Μαρία Χιονίδου,
Δρ. Διδακτικής των Μαθηματικών

ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΚΑΙ
ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

Γ′ ΤΑΞΗ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ



ΕΚΔΟΣΗ 2010 - ΑΝΤΙΤΥΠΑ 6.000 - ΑΡ. ΣΥΜΒΑΣΗΣ 28/17-2-10

ΕΚΤΥΠΩΣΗ: ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α.Ε. - ΒΙΒΛΙΟΔΕΣΙΑ: ΑΦΟΙ ΧΑΛΑ - ΒΙΒΛΙΟΔΕΤΙΚΗ Ο.Ε.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΟ 19ο ΚΑΙ ΤΟΝ 20ό ΑΙΩΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟ 19ο ΚΑΙ ΤΟΝ 20ό ΑΙΩΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όλοι έχουμε ακούσει κάτι από την ιστορία της επιστήμης. Για παράδειγμα, όλοι έχουμε ακούσει πως ο Αρχιμήδης βγήκε από το λουτρό και έτρεχε στους δρόμους των Συρακουσών φωνάζοντας «Εύρηκα», πως ο Γαλιλαίος, αφού ομολόγησε μπροστά στην Ιερά Εξέταση ότι δεν πιστεύει στην κίνηση της γης, σιγοψιθύρισε «Κι όμως κινείται», πως ο Νεύτων ανακάλυψε το νόμο της παγκόσμιας έλξης, όταν είδε να πέφτει ένα μήλο, πως ο Αϊνστάιν δεν πέτυχε στις εισαγωγικές εξετάσεις για το πανεπιστήμιο κτλ. Και όμως, τίποτα από τα παραπάνω δεν ανταποκρίνεται στην αλήθεια! Αλλά ακόμα κι αν ανταποκρινόταν, τέτοιου τύπου ανεκδοτολογικές αναφορές στη ζωή των μεγάλων επιστημόνων δεν είναι ιστορία της επιστήμης.

Η ιστορία της επιστήμης είναι η ιστορία των ανθρώπων που προσπαθούν να κατανοήσουν τη φύση (έμβια και μη), και στην προσπάθειά τους αυτή διατυπώνουν νέες έννοιες και νέους συλλογισμούς, χρησιμοποιούν τα κατάλληλα εργαλεία της λογικής και των μαθηματικών, αναπτύσσουν τεχνικές μέτρησης και παρατήρησης, διαμορφώνουν νέες θεωρίες, επινοούν νέες υπολογιστικές μεθόδους και προτείνουν νέα πειράματα. Βεβαίως, με τα σημερινά κριτήρια και με τις σύγχρονες γνώσεις θα λέγαμε ότι σχεδόν όλες αυτές οι προσπάθειες οδήγησαν στο παρελθόν σε λανθασμένες ή ατελείς θεωρίες!

«Τότε, όμως,» - μπορεί να ρωτήσει κάποιος - «τι νόημα έχει να αφιερώνουμε ένα ολόκληρο μάθημα στο πρόγραμμα του Ενιαίου Λυκείου, για μάθουμε την ιστορία λανθασμένων θεωριών, μεθόδων και τεχνικών;». Πιστεύουμε πως έχει μεγάλη σημασία να μελετήσουμε τις προσπάθειες που έγιναν στο παρελθόν για την κατανόηση της φύσης, για να καταλάβουμε τι ακριβώς πίστευαν οι άνθρωποι σε κάθε εποχή, ασχέτως εάν αυτά που πίστευαν θεωρούνται για εμάς σήμερα σωστά ή λανθασμένα. Στις σελίδες του βιβλίου «Ιστορία των Επιστημών και της Τεχνολογίας» θα προσπαθήσουμε να δείξουμε ότι η κατανόηση μιας εποχής που έχει περάσει παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον, όταν γίνεται όχι με βάση τις δικές μας, τις σημερινές αξίες και αλήθειες, αλλά με βάση τις αξίες και τις δυνατότητες που είχαν οι άνθρωποι την εποχή εκείνη.

Πρωταγωνιστές, ωστόσο, στην ιστορία της επιστήμης, δεν είναι μόνο οι ιδέες αλλά κυρίως οι άνθρωποι με τις αδυναμίες και τις αντιφάσεις τους, με το πείσμα και την απόλυτη αφοσίωσή τους σε αυτό που κάνουν, με τη μικροψυχία αλλά και με τη μεγαλοψυχία τους, με τον εγωισμό τους αλλά και με την ανιδιοτέλειά τους αυτοί που με τις μεγαλειώδεις συλλήψεις τους μας βοήθησαν να κατανοήσουμε καλύτερα το φυσικό κόσμο μέσα στον οποίο ζούμε, το σώμα μας αλλά και τα άλλα έμβια όντα.

Υποστηρίζουμε ότι μελετάμε την ιστορία των ανθρώπων που προσπάθησαν να κατανοήσουν τη φύση και όχι απλώς την ιστορία των ιδεών τους. Τις ιδέες τις παράγουν οι άνθρωποι μέσα από πολύμορφες και πολύπλοκες διαδικασίες, όπως είναι η συστηματική παρατήρηση της φύσης και ο στοχασμός, η μελέτη της γνώσης που έχουν κληροδοτήσει οι προηγούμενες γενιές, η κριτική, η διδασκαλία, η συστηματική έρευνα, οι συζητήσεις και πολλές φορές οι διαμάχες, η επίλυση πρακτικών προβλημάτων, η κατασκευή οργάνων ή μηχανών, η τιθάσευση και η εκμετάλλευση της φύσης αλλά και οι πόλεμοι, οι σχέσεις τους με την εξουσία, με τους χορηγούς κτλ.

Έτσι, οι διανοητικές διεργασίες που απαιτούνται για τις επιστημονικές κατακτήσεις δεν είναι δυνατόν να μελετηθούν χωρίς να ληφθεί υπόψη η καθημερινή πρακτική των επιστημόνων, δηλαδή ο τρόπος με τον οποίο αυτοί ζουν και λειτουργούν σε μια κοινωνία.

Οι επιστημονικές θεωρίες, λοιπόν, είναι αποτέλεσμα διανοητικών αλλά και κοινωνικών διεργασιών. Στον καθορισμό των θεωριών ορισμένες φορές υπερισχύουν οι διανοητικές διεργασίες, άλλες φορές πάλι οι κοινωνικοί παράγοντες. Συνήθως, όμως, η διαμόρφωση των ιδεών σχετικά με τη φύση είναι αποτέλεσμα της συνεχούς αλληλεπίδρασης των διανοητικών και των κοινωνικών διεργασιών.

Με το βιβλίο «Ιστορία των Επιστημών και της Τεχνολογίας» θέλουμε να γνωρίσουν οι μαθητές κάποια σημαντικά γεγονότα, που έχουν σχέση με την ιστορία της επιστήμης. Παράλληλα, όμως, θέλουμε να αναδείξουμε και ορισμένες από τις θέσεις εκείνες με τις οποίες συμφωνούν σήμερα οι περισσότεροι ιστορικοί της επιστήμης. Δηλαδή:

- *ότι πολλά πράγματα σχετικά με τη φύση μπορούν να γίνουν κατανοητά με την απλή παρατήρηση, που δεν απαιτεί περίπλοκα όργανα,*
- *ότι η σχέση ανάμεσα στη θρησκεία και την επιστήμη είναι εξαιρετικά σύνθετη και, επομένως, δεν είναι δυνατόν να κατανοηθεί μέσα από δίπολα του τύπου «συντηρητική θρησκεία - προοδευτική επιστήμη»,*
- *ότι ο Μεσαίωνας δεν υπήρξε η «σκοτεινή» περίοδος της ιστορίας, όπως χαρακτηριζόταν παλαιότερα,*
- *ότι η σχολαστική παράδοση του Μεσαίωνα δεν υπονόμευε την επιστήμη,*
- *ότι η συνεισφορά των Αράβων και του Ισλάμ στην αναγέννηση της επιστημονικής σκέψης στην Ευρώπη ήταν εξαιρετικά σημαντική,*
- *ότι οι «ψευδο-επιστήμες» - όπως μερικές φορές χαρακτηρίζονται η αλχημεία, η μαγεία, η αστρολογία κτλ.- από τη μια πλευρά, και ο ορθολογισμός από την άλλη*

έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της επιστήμης,

• ότι δεν υπάρχουν «συνταγές» για το πώς αναπτύσσεται η επιστήμη, η οποία συνεχίζει την πορεία της άλλοτε συσσωρεύοντας γνώσεις και άλλοτε δημιουργώντας ρήξεις με τις καθιερωμένες αντιλήψεις,

• ότι η επιστημονική σκέψη, όπως τη γνωρίζουμε σήμερα, έκανε πολλά χρόνια να αποδεσμευτεί από τη φιλοσοφία,

• ότι σε κάθε περίοδο υπάρχουν συγκεκριμένες σχέσεις ανάμεσα στις ιδέες για το πώς είναι και πώς λειτουργεί η φύση από τη μία πλευρά και την πρακτική εφαρμογή αυτών των ιδεών για την επίλυση καθημερινών προβλημάτων από την άλλη, και τέλος,

• ότι η γνώση της φιλοσοφίας των επιστημών (κριτήρια αλήθειας για την αποδοχή των θεωριών, εξηγητικό σχήμα, σχέση θεωρίας-πειράματος κτλ.) συμβάλλει σημαντικά στην κατανόηση της ιστορίας τους.

Δύο περίοδοι από την ιστορία της επιστήμης έχουν προσελκύσει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον των ειδικών, οι οποίοι έγραψαν εξαιρετικά σημαντικές μελέτες γι' αυτές: η ελληνική αρχαιότητα και η περίοδος που είναι γνωστή ως Επιστημονική Επανάσταση (16ος και 17ος αιώνας). Στη διάρκεια της Επιστημονικής Επανάστασης διαμορφώθηκαν οι θεωρίες και οι κανόνες της σύγχρονης επιστήμης από ανθρώπους, όπως ο Κοπέρνικος, ο Γαλιλαίος, ο Καρτέσιος, ο Κέπλερ, ο Νεύτων κ.ά., και η επιστήμη άρχισε βαθμιαία να αυτονομείται από τη φιλοσοφία. Τα έργα, όμως, αυτών των μεγάλων επιστημόνων δε δημιουργήθηκαν εκ του μηδενός. Βασίστηκαν στην κληρονομιά του παρελθόντος, στα έργα των Αρχαίων Ελλήνων στοχαστών, του Πλάτωνα, του Αριστοτέλη, του Πτολεμαίου κ.ά., και ταυτόχρονα έφεραν τη ρήξη με την κληρονομιά αυτή. Γι' αυτό το λόγο δίνουμε ειδικό βάρος στη μελέτη αυτών των δύο περιόδων, πιστεύοντας πως πολλά από τα θέματα που απαριθμήσαμε παραπάνω είναι δυνατόν να συζητηθούν με αρκετή σαφήνεια με τα παραδείγματα που μας παρέχουν.

Που βασιζόμαστε, για να μελετήσουμε της ιστορία των επιστημών; Πρώτα στις ιστορικές πηγές, στα τεκμήρια που έχουν αφήσει οι επιστήμονες: στο δημοσιευμένο έργο, στις σημειώσεις, στα χειρόγραφα, στις μαρτυρίες συνεργατών, στην αλληλογραφία τους κτλ. Αλλά πέρα απ' αυτές η ιστορία των επιστημών έχει αναπτύξει ένα σύνολο μεθοδολογιών και τεχνικών, οι οποίες - με βάση την ενδελεχή μελέτη των ιστορικών πηγών - μας επιτρέπουν να δώσουμε απαντήσεις όχι μόνο στο ερώτημα πώς έγιναν τα πράγματα αλλά και στο ερώτημα γιατί έγιναν έτσι. Με άλλα λόγια,

«ιστορία της επιστήμης» δεν είναι μόνο η αφήγηση αλλά και η ερμηνεία των γεγονότων.

Η γνώση των πηγών, φυσικά, δε σημαίνει στείρα απομνημόνευση. Δεν είναι απαραίτητο ο μαθητής να επικεντρώνει την προσοχή του αποκλειστικά στα γεγονότα και στις χρονολογίες. Αυτό που μας ενδιαφέρει δεν είναι να απομνημονεύσει όλες τις χρονολογίες που θα συναντήσει στην αφήγηση που ακολουθεί, αλλά, κυρίως, να συγκρατήσει τη χρονική σειρά των πιο σημαντικών γεγονότων.

Ένα εισαγωγικό βιβλίο, όπως αυτό, δεν μπορεί να περιλαμβάνει όλα τα θέματα που αφορούν την ιστορία των επιστημών· γι' αυτό επιλέξαμε να δώσουμε έμφαση σε ορισμένα μόνο επεισόδια και να παραλείψουμε άλλα.

Όπως θα διαπιστώσει ο αναγνώστης, δίνουμε έμφαση στην ιστορία της φυσικής, της αστρονομίας και των μαθηματικών. Αλλά ιστορία της επιστήμης δεν είναι μόνο η ιστορία των τριών αυτών επιστημών. Είναι επίσης η ιστορία της αλχημείας και της χημείας, η ιστορία της βιολογίας, της ιατρικής, της φαρμακευτικής, της γεωλογίας, ακόμα και της τεχνολογίας. Εμείς επιλέξαμε εκείνες τις γνωστικές περιοχές που αναδεικνύουν αυτές τις πλευρές της ιστορίας των επιστημών, οι οποίες θεωρούνται σημαντικές και ταυτόχρονα εμπεριέχουν αρκετά από τα «γνωστά περιστατικά». Οι λόγοι που μας οδήγησαν να επιλέξουμε στην αφήγησή μας της ιστορία της φυσικής, της αστρονομίας και των μαθηματικών είναι οι εξής: πρώτο, για τα θέματα αυτά έχει γραφτεί ο μεγαλύτερος όγκος των καθιερωμένων βιβλίων του κλάδου, έχουν γίνει οι περισσότερες συζητήσεις και, επομένως, υπάρχει σύγκλιση απόψεων ανάμεσα στους ιστορικούς της επιστήμης σχετικά με τη σημασία ορισμένων γεγονότων και προσώπων· δεύτερο, οι μαθητές στους οποίους απευθύνεται το βιβλίο έχουν τις απαιτούμενες τεχνικές γνώσεις (γεωμετρία και κλασική φυσική), ώστε είναι σε θέση να παρακολουθήσουν επιχειρήματα με τεχνικό περιεχόμενο καλύτερα από επιχειρήματα άλλων γνωστικών πεδίων· τρίτο, υπάρχουν πολλά βοηθήματα (κυρίως ξένα βιβλία μεταφρασμένα στα ελληνικά), που αναφέρονται σ' αυτά τα θέματα.

Άλλοι συγγραφείς θα επέλεγαν να παρουσιάσουν, ενδεχομένως, άλλα θέματα· θα έδιναν, ίσως, έμφαση σε διαφορετικά γεγονότα. Με τη νέα ρύθμιση σε ό,τι αφορά τα σχολικά βιβλία, θα υπάρχουν στο μέλλον τρία βιβλία για κάθε μάθημα και οι σύλλογοι των καθηγητών σε κάθε περιφέρεια θα επιλέγουν όποιο από τα τρία κρίνουν ως πιο κατάλληλο. Άρα και η Ιστορία των επιστημών θα έχει την τύχη να αποτελέσει πεδίο συζήτησης και, γιατί όχι, αντιπαράθεσης ανάμεσα σε διαφορετικές προσεγγίσεις.

Ο αναγνώστης θα παρατηρήσει ότι ο τρόπος παρουσίασης του γνωστικού αντικειμένου που ακολουθήσαμε στο βιβλίο δεν είναι παντού ο ίδιος. Για τη χρονική περίοδο από την αρχαιότητα έως τα τέλη του 17ου αιώνα ακολουθήσαμε την - αναπό-

φευκτα περιληπτική - εξιστόρηση με χρονολογική σειρά των εξελίξεων στις φυσικές επιστήμες και στα μαθηματικά. Στο υπόλοιπο τμήμα του βιβλίου επιλέξαμε και εκθέσαμε συνοπτικά κάποια καθοριστικά επεισόδια από την ιστορία των φυσικών επιστημών χωρίς να επιχειρήσουμε μια συνολική αφήγηση της πορείας τους κατά το 18ο, το 19ο και τον 20ο αιώνα. Αυτή η έλλειψη ομοιομορφίας στην παρουσίαση του υλικού σχετίζεται με τις τεχνικές δυσκολίες που αυτό παρουσιάζει για τους μαθητές του Λυκείου, οι γνώσεις των οποίων δεν επαρκούν για να μπορέσουν αυτοί να παρακολουθήσουν έστω και κάποιες από τις σχετικές συζητήσεις. Αυτό το πρόβλημα γίνεται ακόμα πιο έντονο, όταν αναφερόμαστε στον 20ό αιώνα. Στις αρχές του 20ού αιώνα αναπτύχθηκε η ειδική θεωρία της σχετικότητας, η γενική θεωρία της σχετικότητας και της κβαντικής μηχανικής. Οι θεωρίες αυτές ανέτρεψαν ουσιαστικά τον τρόπο με τον οποίο κατανοούσαμε τη φύση στο πλαίσιο που είχε θέσει η Επιστημονική Επανάσταση του 16ου και, κυρίως, του 17ου αιώνα. Για να κατανοήσουμε, επομένως, τα ιστορικά και τα φιλοσοφικά προβλήματα που τέθηκαν με αυτές τις θεωρίες, θα πρέπει να γνωρίζουμε κάποια χαρακτηριστικά τους. Ένα διδακτικό εγχειρίδιο ιστορίας των επιστημών δεν είναι δυνατόν να «διδάξει» αυτές τις θεωρίες προκειμένου να γίνει έτσι δυνατή η συζήτηση των ιστορικών και των φιλοσοφικών ζητημάτων που αναφύονται, γιατί τότε θα κινδύνευε να χαρακτηριστεί εκλαϊκευτικό.

Η Ιστορία της Επιστήμης και της Τεχνολογίας αποκτά σήμερα ολοένα και μεγαλύτερη σημασία για τη διδασκαλία και την έρευνα. Στο διεθνή χώρο τα τελευταία είκοσι χρόνια έχουν ιδρυθεί μεγάλα ινστιτούτα, πολλά πανεπιστημιακά τμήματα, ενώ έχει αυξηθεί εντυπωσιακά ο αριθμός των επιστημόνων που ασχολούνται επαγγελματικά με αυτά τα θέματα και ο αριθμός των σχετικών βιβλίων που έχουν εκδοθεί. Τελευταία, μαθήματα ιστορίας της επιστήμης άρχισαν να εντάσσονται στα σχολικά προγράμματα και η Ελλάδα είναι μία από τις χώρες που πρωτοπορούν στον τομέα αυτό.

Οι μαθητές που θα φοιτήσουν στη Γ΄ Λυκείου το σχολικό έτος 1999-2000 θα είναι οι πρώτοι που θα διδαχτούν αυτό το μάθημα. Οι παρατηρήσεις τους θα βοηθήσουν στην εντόπιση των πιθανών αδυναμιών του βιβλίου και επομένως στη βελτίωσή του. Κάθε σχολικό βιβλίο θα πρέπει συνεχώς να βελτιώνεται, να προσαρμόζεται σε νέα δεδομένα, να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των μαθητών (προφανώς, και των καθηγητών), να λαμβάνει υπόψη τις διάφορες παρατηρήσεις και κριτικές, ώστε να γίνει ζωντανό στοιχείο της εκπαιδευτικής διαδικασίας. Γι' αυτό το λόγο αποφασίσαμε να ανοίξουμε ένα συνεχή δίαυλο επικοινωνίας με τους μαθητές, που θα μπορούν να στέλνουν ηλεκτρονικά (με e-mail) τα μηνύματά τους στη διεύθυνση **hst@pi-schools.gr** *με τις παρατηρήσεις, τις προτάσεις τους για βελτιώσεις, τις*

σκέψεις τους για συγκεκριμένα επεισόδια που συζητάμε και, βέβαια, τα σχόλιά τους για τα κεφάλαια ή τις ενότητες που βρήκαν ελκυστικά και ενδιαφέροντα. Εμείς υποσχόμαστε πως θα απαντάμε εντός μίας εβδομάδας μετά τη λήψη κάθε μηνύματος, αρκεί βέβαια το μήνυμα να συνοδεύεται από το όνομα και από τα στοιχεία του μαθητή.

Η πολύχρονη πείρα μας σχετικά με τα εκπαιδευτικά θέματα μας έχει πείσει πως τα βιβλία δεν χωρίζονται σε εύκολα και σε δύσκολα, αλλά σε ενδιαφέροντα και σε βαρετά. Ελπίζουμε οι περισσότεροι μαθητές να το βρουν πολύ ενδιαφέρον, άλλοι να βρουν μέσα σ' αυτό ορισμένα ενδιαφέροντα θέματα, και οι υπόλοιποι απλώς να το βρουν ίσως βαρετό.

Η «Ιστορία των Επιστημών και της Τεχνολογίας» είναι αποτέλεσμα μιας συλλογικής προσπάθειας, στην οποία ο καθένας από εμάς είχε το δικό του συγκεκριμένο και ουσιαστικό ρόλο: άλλος έχοντας τη βασική ευθύνη της επιλογής και της συγγραφής των θεμάτων, άλλος προσαρμόζοντας το υλικό στις διδακτικές απαιτήσεις ενός εγχειριδίου που προορίζεται για τη Γ΄ Λυκείου. Το τελικό κείμενο πιστεύουμε ότι αντανακλά αυτή τη δημιουργική συνεργασία.

Σε όλη τη διάρκεια της συγγραφής του βιβλίου, οι τέσσερις από εμάς που διδάσκουμε στο Τμήμα Μεθοδολογίας, Ιστορίας και Θεωρίας της Επιστήμης του Πανεπιστημίου Αθηνών αισθανθήκαμε πόσο δυσαναπλήρωτο είναι το κενό που μας άφησε η απουσία του ΓΙΩΡΓΟΥ ΓΚΟΥΝΤΑΡΟΥΛΗ (1945-1996), καθηγητή ιστορίας και φιλοσοφίας των επιστημών, αρχικά στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και στη συνέχεια στο Πανεπιστήμιο Αθηνών. Ο Γ. ΓΚΟΥΝΤΑΡΟΥΛΗΣ είχε πάθος με τη διδασκαλία και μας έμαθε πολλά μέσα από το εκπαιδευτικό και ερευνητικό έργο του. Για ένα είμαστε απόλυτα βέβαιοι: ότι αυτό το βιβλίο θα ήταν πολύ καλύτερο, αν βρισκόταν σήμερα μαζί μας. Ως ελάχιστο χρέος τιμής για τις προσπάθειες που κατέβαλε για την εδραίωση της Ιστορίας της Επιστήμης στη χώρα μας, το αφιερώνουμε στη μνήμη του.

Αθήνα, Δεκέμβριος 1998 — *Οι συγγραφείς*

Μέρος Πρώτο: Η Αρχαία και Μεσαιωνική Επιστήμη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΙ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΟΥΣ ΑΡΧΑΙΟΥΣ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥΣ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥΣ

1 ΤΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ Η ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΣΤΗ ΜΕΣΟΠΟΤΑΜΙΑ

Η μελέτη της ιστορίας της αρχαίας Μεσοποταμίας, έγραψε πρόσφατα ένας συγγραφέας, μοιάζει με ένα μακρινό και ασυνήθιστο ταξίδι όπου, ώσπου να φτάσουμε στον προορισμό μας, δεν είμαστε σίγουροι αν βρισκόμαστε στο σωστό δρόμο. Οι λιγοστές πληροφορίες που ακολουθούν έχουν σκοπό να μας προσανατολίσουν στο σύντομο ταξίδι που θα κάνουμε στην ιστορία της επιστήμης που αναπτύχθηκε εδώ και τέσσερις χιλιάδες χρόνια στη χώρα αυτή που βρίσκεται ανάμεσα στους δύο ποταμούς, τον Τίγρη και τον Ευφράτη, και καλύπτει μεγάλη περιοχή του σημερινού Ιράκ.

Οι λαοί που κατοικούσαν στην ευρύτερη περιοχή της Μεσοποταμίας από την τέταρτη π.Χ. χιλιετία και μετά χωρίζονται από τους αρχαιολόγους σε δύο ομάδες, στους λαούς «μη σημιτικής καταγωγής» (που ονομάζονται και «ασιανίτες») και στους λαούς «σημιτικής καταγωγής». Γύρω στο 3500 π.Χ. συναντάμε στη νότια Μεσοποτάμια χώρα (στα παράλια του Περσικού Κόλπου και στις όχθες του Ευφράτη) εγκατεστημένους τους **Σουμέριους**, λαό μη σημιτικής καταγωγής, οι οποίοι είχαν συγκροτήσει μικρές πόλεις-κράτη. Οι Σουμέριοι ήταν μια από τις πιο αξιόλογες πολιτιστικές ομάδες που γνώρισε ποτέ η ιστορία. Εφηύραν τον τροχό, χρησιμοποίησαν πρώτοι πλίνθους για την κατασκευή μνημειακών κτιρίων, βρήκαν τρόπο να φτιάχνουν βούτυρο από το γάλα, κατασκεύασαν μεγάλα παλάτια και ιδιότυπους ναούς, τα περίφημα ζιγκουράτ (σαν τον πύργο της Βαβέλ, που αναφέρει η Παλαιά Διαθήκη). **Δύο από τα πιο σημαντικά επιτεύγματά τους ήταν η επινόηση της σφηνοειδούς γραφής και ενός αριθμητικού συστήματος, το οποίο από τα τέλη της τρίτης π.Χ. χιλιετίας εξελίχθηκε σε ένα εξηκονταδικό θεσιακό σύστημα αρίθμησης**.

Κατά την περίοδο 2350-2200 π.Χ. το σουμεριακό πολιτισμό προσοικειώθηκαν οι σημίτες Ακκάδιοι, που κατοικούσαν πολύ πιο βόρεια. Με την πάροδο του χρόνου οι

> Η ΑΠΟΚΡΥΠΤΟΓΡΑΦΗΣΗ
>
> Η σφηνοειδής γραφή των Σουμερίων αποκρυπτογραφήθηκε στα μέσα του περασμένου αιώνα, χάρη στις προσπάθειες του 27χρονου Γερμανού βοηθού δασκάλου από το Γκέτιγκεν G.F. Grotefend (Γκρότεφεντ, 1775-1853), και του Άγγλου ταγματάρχη H.C. Rawlinson (Ρώλινσον, 1810-1895)· όμως τα σφηνοειδή μαθηματικά και αστρονομικά κείμενα άρχισαν να μελετώνται σοβαρά, να αποκρυπτογραφούνται και να ερμηνεύονται μόλις στα τέλη της δεκαετίας 1920/30 χάρη, κυρίως, στις ακαταπόνητες προσπάθειες του Αυστριακού Otto Neugebauer (O. Νόυγκεμπαουερ, 1899-1990), κορυφαίου ερευνητή της επιστήμης της Μεσοποταμίας.

σημίτες κυριαρχούσαν όλο και περισσότερο και από τις αρχές της δεύτερης π.Χ. χιλιετίας το σουμεριακό και το ακκαδικό στοιχείο συγχωνεύθηκαν επιτυχώς στο πλαίσιο της **Πρώτης Βαβυλωνιακής Δυναστείας** (1900-1600 π.Χ.). Ο πιο γνωστός εκπρόσωπος της Δυναστείας αυτής, ο μεγάλος νομοθέτης και κυβερνήτης Χαμουραμπί (περ. 1792-1750 π.Χ.), μπορούσε πια να αποκαλεί τον εαυτό του «Βασιλέα του Σούμερ και του Ακκάδ«. Η περίοδος της Δυναστείας του Χαμουραμπί ήταν μια περίοδος ευημερίας και πολιτισμικής άνθησης και τα περισσότερα από τα μαθηματικά κείμενα του πολιτισμού της Μεσοποταμίας που έχουμε στη διάθεσή μας χρονολογούνται από αυτήν ακριβώς την περίοδο. Πρωτεύουσα της Πρώτης Βαβυλωνιακής Δυναστείας ήταν η Βαβυλώνα και για το λόγο αυτό ολόκληρος ο πολιτισμός της Μεσοποταμίας αναφέρεται συχνά στη βιβλιογραφία ως βαβυλωνιακός πολιτισμός.

Τα αρχαιότερα γραπτά τεκμήρια από την περιοχή χρονολογούνται περίπου από το 3500 π.Χ. και καταγράφονται σε όλη την περίοδο ως το 539 π.Χ., όταν ο Πέρσης βασιλιάς Κύρος υπέταξε όλη την περιοχή στην περσική κυριαρχία και η Μεσοποταμία έπαψε πια να υφίσταται ως ανεξάρτητη οντότητα. Η κατάκτηση της χώρας από τους Πέρσες και, δύο αιώνες αργότερα, από το Μέγα Αλέξανδρο, είχε ως αποτέλεσμα η ιστορία της Μεσοποταμίας από τον 5ο π.Χ. αι. και μετά να μη μπορεί να διαχωριστεί από την ιστορία άλλων χωρών, κυρίως της Περσίας και της Ελλάδας.

1.1 Το βαβυλωνιακό αριθμητικό σύστημα

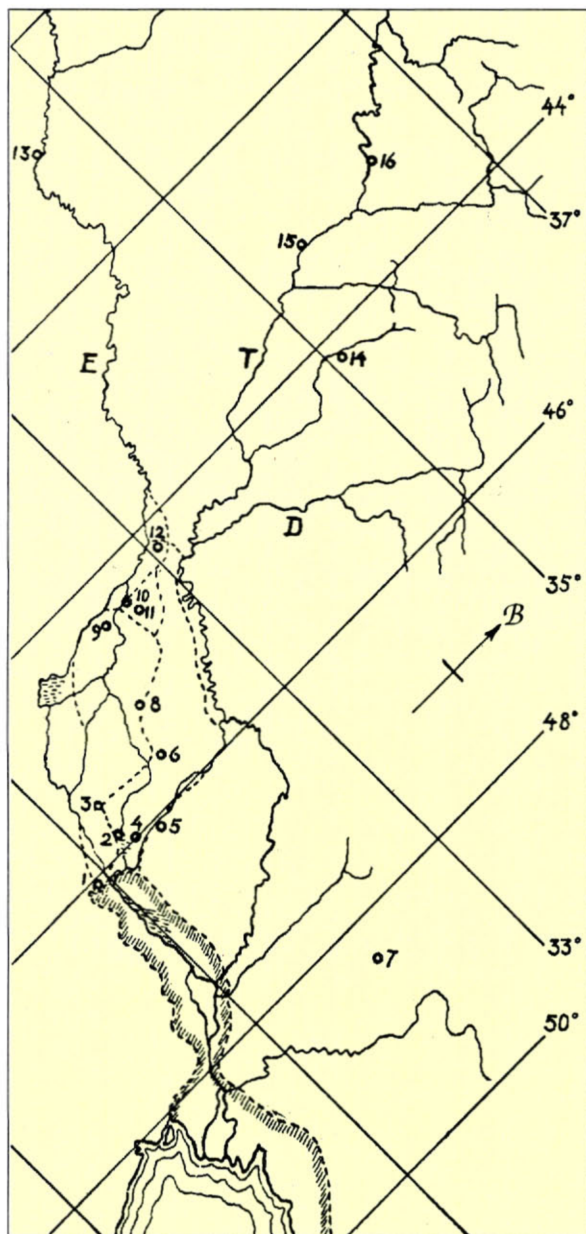
Είπαμε ότι το αριθμητικό σύστημα των Βαβυλωνίων αναπτύχθηκε γύρω στο 2000 π.Χ. Όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια, ήταν ένα μη ψηφιακό εξηκονταδικό θεσιακό σύστημα, στο οποίο χρησιμοποιούνταν δύο σύμβολα: η απλή κατακόρυφη σφήνα (𒁹), που παριστάνει τη μονάδα, και η διπλή σφήνα (𒌋), που παριστάνει τη δεκάδα. Και τα δύο σύμβολα σχηματίζονταν πιέζοντας μια αιχμηρή γραφίδα σε μια πήλινη πινακίδα. Οι αριθμοί μέχρι το 59 γράφονταν με επανάληψη αυτών των δύο

συμβόλων. Ο αριθμός 35, για παράδειγμα, γραφόταν με τη βοήθεια τριών συμβόλων του δέκα και πέντε συμβόλων της μονάδας (όπως στα γνωστά μας ρωμαϊκά αριθμητικά σημεία). Σε όλα αυτά δεν υπάρχει τίποτα το εξαιρετικό. Τώρα, όμως, εμφανίζεται το σημαντικό γεγονός: ο αριθμός 60 παριστάνεται και πάλι με το σύμβολο της μονάδας, δηλαδή με την απλή κατακόρυφη σφήνα, ενώ το ίδιο ισχύει για κάθε θετική ή αρνητική δύναμη του 60. Έτσι, το σύμβολο για το 1 μπορεί να σημαίνει $1 \cdot 60^0 = 1$ ή $1 \cdot 60^1 = 60$ ή $1 \cdot 60^2 = 3600$ ή, γενικά, οποιαδήποτε θετική ή αρνητική δύναμη του 60. Το ίδιο ισχύει για κάθε αριθμό από το 1 ως το 59. Η τιμή, επομένως, ενός αριθμητικού συμβόλου δεν είναι μονοσήμαντα καθορισμένη. Αλλά τότε, από τι εξαρτάται η τιμή ενός συμβόλου; Εδώ ακριβώς βρίσκεται η πρωτοτυπία του βαβυλωνιακού αριθμητικού συστήματος: η τιμή κάθε συμβόλου εξαρτάται από τη θέση του μέσα στη σημειογραφία του εκάστοτε αριθμού· το σύστημα δηλαδή είναι **θεσιακό**. Διέπεται από την ίδια βασική αρχή που ισχύει στο σημερινό αριθμητικό σύστημα όπου, λ.χ., στον αριθμό 1955, το πρώτο ψηφίο «5», λόγω της θέσης του στη σημειογραφία του αριθμού, έχει δεκαπλάσια τιμή ($5 \cdot 10^1 = 50$) από το δεύτερο «5» ($5 \cdot 10^0 = 5$). Αυτή ακριβώς η αρχή ισχύει και στο βαβυλωνιακό αριθμητικό σύστημα, με τη διαφορά ότι, επειδή είναι εξηκονταδικό και όχι δεκαδικό, οι διαδοχικές «θέσεις» δηλώνουν τις διαδοχικές δυνάμεις του 60 και όχι του 10.

Ο συστηματικός θεσιακός συμβολισμός είχε τεράστια **πλεονεκτήματα** για την εκτέλεση των πράξεων. Ο Βαβυλώνιος των αρχών της δεύτερης π.Χ. χιλιετίας μπορούσε να εκτελεί με την ίδια ευκολία οποιονδήποτε πολλαπλασιασμό στο εξηκονταδικό σύστημα, έχοντας στη διάθεσή του μόνο τους βασικούς πίνακες με τους πολλαπλασιασμούς από το $1 \cdot 1$ ως το $59 \cdot 59$ (όπως ακριβώς εμείς χρησιμοποιούμε τους πίνακες από το $1 \cdot 1$ ως το $9 \cdot 9$ - δηλαδή την «προπαίδεια»). Επίσης, με τους ίδιους πίνακες μπορούσε να πολλαπλασιάζει τα εξηκονταδικά κλάσματα σαν να ήταν ακέραιοι αριθμοί, όπως ακριβώς κι εμείς πολλαπλασιάζουμε τα δεκαδικά κλάσματα (δηλαδή τους δεκαδικούς αριθμούς) σαν να είναι ακέραιοι, θέτοντας στο τέλος την υποδιαστολή στην κατάλληλη θέση.

Το βαβυλωνιακό αριθμητικό σύστημα είχε όμως και **μειονεκτήματα**, το πιο σημαντικό από τα οποία

Ας δούμε το παράδειγμα του αριθμού <<<<|||<<|. Ο αριθμός αυτός αποτελείται από δύο μέρη: οι τέσσερις διπλές και οι τρεις απλές σφήνες στο αριστερό μέρος σχηματίζουν τον αριθμό 43, ενώ οι δύο διπλές και η μια απλή σφήνα στο δεξιό μέρος σχηματίζουν τον αριθμό 21. Ο αριθμός θα μπορούσε να γραφτεί 43,21. Όμως, οι 43 μονάδες του αριστερού τμήματος είναι ανώτερης τάξης σε σύγκριση με τις 21 μονάδες του δεξιού τμήματος. Ο αριθμός θα μπορούσε, λ.χ., να είναι ο $43 \cdot 60^1 + 21 \cdot 60^0 = 2601$ ή ο $43 \cdot 60^0 + 21 \cdot 60^{-1} = 2601/60$ ή, πιο γενικά, ο $43 \cdot 60^n + 21 \cdot 60^{n-1}$.



Χάρτης της Μεσοποταμίας.
Οι διακεκομμένες γραμμές παριστάνουν την κοίτη των ποταμών και τα παράλια του Περσικού κόλπου στην αρχαιότητα. Οι αριθμοί δείχνουν τις θέσεις των σημαντικών πόλεων.

6 Αντάμπ
15 Ασσούρ
10 Βαβυλώνα
9 Ντιλμπάτ
D Ντιγιάλα ποταμός
E Ευφράτης ποταμός
11 Κις
5 Λαγκάς
2 Λάρσα
13 Μαρί
16 Νινευή
8 Νίππουρ
14 Νουζί
7 Σούσα
12 Σιππάρ
4 Τελ Σιφρ
T Τίγρης ποταμός
1 Ουρ
3 Ουρούκ

ήταν η απουσία συμβόλου για το «μηδέν». Για να καταλάβουμε τη σημασία της έλλειψης αυτής ας σκεφτούμε πώς θα γράφαμε εμείς σήμερα, λ.χ., τον αριθμό «δέκα», αν δεν είχαμε το σύμβολο του «μηδενός»· θα τον γράφαμε όπως ακριβώς γράφουμε και τον αριθμό «ένα», με το σύμβολο «1», υπονοώντας όμως ότι το σύμβολο αυτό δηλώνει όχι μια απλή μονάδα ($1 \cdot 10^0 = 1$) αλλά μια μονάδα της αμέσως μεγαλύτερης τάξης ($1 \cdot 10^1 = 10$), δηλαδή μια δεκάδα. Με το ίδιο σύμβολο («1») θα γράφαμε επίσης

το εκατό, το χίλια και γενικά κάθε δύναμη του 10. Η απουσία συμβόλου για το «μηδέν», λοιπόν, προσέδιδε στο βαβυλωνιακό αριθμητικό σύστημα μια έλλειψη σαφήνειας σε ό,τι αφορά την τάξη μεγέθους του κάθε αριθμού, η οποία έπρεπε να κατανοείται από τα συμφραζόμενα του εκάστοτε προβλήματος. Ένα άλλο μειονέκτημα του συστήματος ήταν η απουσία συμβόλου για την υποδιαστολή (ώστε να διακρίνονται οι ακέραιοι αριθμοί από τα κλάσματα).

Παρά τα μειονεκτήματά του, το βαβυλωνιακό αριθμητικό σύστημα έδινε τη δυνατότητα να εκτελούνται οι αριθμητικές πράξεις με την ίδια σχεδόν ευκολία, όπως στη σημερινή αριθμητική. Για να απαλλαγούν όμως από το βάρος των μακροσκελών υπολογισμών, οι Βαβυλώνιοι γραφείς έκαναν εκτεταμένη χρήση πινάκων. Ο μεγαλύτερος αριθμός από τις πινακίδες μαθηματικού περιεχομένου που σώζονται περιέχουν ακριβώς τέτοια **κείμενα-πίνακες**. Οι πίνακες ήταν διαφόρων ειδών: πίνακες πολλαπλασιασμού, πίνακες αντιστρόφων (που χρησίμευαν για να εκτελούνται οι διαιρέσεις, καθώς το αποτέλεσμα μιας διαίρεσης $m:n$ υπολογιζόταν ως $m \cdot \frac{1}{n}$), επίσης πίνακες τετραγώνων, κύβων, τετραγωνικών και κυβικών ριζών, ακόμη και πίνακες με τις τιμές παραστάσεων της μορφής $n^2 + n^3$ για διάφορες τιμές του n.

1.2 Η βαβυλωνιακή γεωμετρία

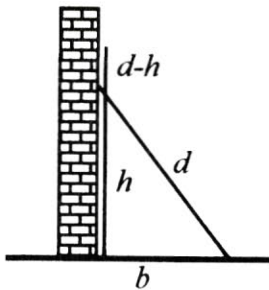
Η γεωμετρία των Βαβυλωνίων δεν ήταν αποδεικτική, όπως η γεωμετρία των Αρχαίων Ελλήνων, αλλά υπολογιστική. Το περιεχόμενό της ήταν οι υπολογισμοί εμβαδών και όγκων και οι μετρικές σχέσεις σε τρίγωνα και σε τραπέζια. Σε ό,τι αφορά τα εμβαδά και τους όγκους, οι Βαβυλώνιοι γνώριζαν καταρχάς να υπολογίζουν σωστά το εμβαδόν του ορθογωνίου, του ορθογωνίου τριγώνου και του τραπεζίου με μια πλευρά κάθετη προς τις παράλληλες βάσεις. Επίσης, υπολόγιζαν σωστά τους όγκους των πρισμάτων και των κυλίνδρων πολλαπλασιάζοντας το εμβαδόν της βάσης επί το ύψος, αν και για τον υπολογισμό του εμβαδού του κύκλου αρκούνταν, όπως θα λέγαμε σήμερα, τις περισσότερες φορές στην χονδροειδή προσέγγιση $\pi = 3$.

Σε ό,τι αφορά τις μετρικές σχέσεις το πιο σημαντικό επίτευγμα ήταν ο υπολογισμός των μηκών των πλευρών ορθογωνίων τριγώνων. Ένα από τα αρχαιότερα παραδείγματα υπολογισμού πλευρών ορθογωνίων τριγώνων φαίνεται ότι είναι αυτό που συναντούμε στην πινακίδα 85196 του Βρετανικού Μουσείου, που χρονολογείται από την εποχή της Πρώτης Βαβυλωνιακής Δυναστείας. Η διατύπωση είναι η εξής: *«Ένα δοκάρι με μήκος 0;30 [ακουμπά κατακόρυφα σε έναν τοίχο]. Το επάνω άκρο γλιστράει προς τα κάτω κατά 0;06. Πόσο απομακρύνεται το κάτω άκρο;»*

Σύμφωνα με το πρόβλημα έχουμε ένα ορθογώνιο τρίγωνο με υποτείνουσα d = 0;30 (δηλ. $0 \cdot 60^0 + 30 \cdot 60^{-1} = 30/60 = 0{,}5$) και μια κάθετη πλευρά h = 0;30 - 0;06 = 0;24 (δηλ. $0 \cdot 60^0 + 24 \cdot 60^{-1} = 24/60 = 0{,}4$). Ζητείται η άλλη κάθετη πλευρά b, η οποία στο κεί-



Η βαβυλωνιακή πινακίδα "Plimpton 322". Χρονολογείται από την εποχή της Πρώτης Βαβυλωνιακής Δυναστείας (1900-1600 π.Χ.) και ανακαλύφθηκε σε ανασκαφές στο Senkereh. Γύρω στο 1923 την αγόρασε ο George Plimpton από έναν έμπορο στη Florida. Σήμερα φυλάσσεται στη συλλογή George A. Plimpton της Βιβλιοθήκης Σπανίων Βιβλίων και Χειρογράφων του Πανεπιστημίου της Columbia της Νέας Υόρκης. Η πινακίδα δεν διασώζεται ολόκληρη. Το υπάρχον τμήμα της, που φαίνεται στη φωτογραφία, είναι το δεξιό τμήμα μιας μεγαλύτερης αρχικά πινακίδας. Το αριστερό τμήμα έχει αποκοπεί, μάλλον μετά από την ανασκαφή. Οι διαστάσεις του σωζόμενου τμήματος είναι 13 x 9 εκ.



μενο υπολογίζεται σωστά, χρησιμοποιώντας τον «τύπο» $b = \sqrt{d^2-h^2}$ και βρίσκεται ίση με 0;18 (η τετραγωνική ρίζα βρισκόταν, φυσικά, από τους πίνακες). Προβλήματα παρόμοια με αυτό συναντάμε σε πολλά κείμενα της εποχής των Σελευκιδών, γεγονός που αποδεικνύει ότι οι Βαβυλώνιοι διατήρησαν την παράδοση των μετρικών σχέσεων σε ορθογώνια τρίγωνα για περισσότερο από 1500 χρόνια.

Ένα, επίσης, από τα πιο σημαντικά κείμενα των Μαθηματικών της Μεσοποταμίας είναι η πινακίδα Plimpton 322, (βλέπε φωτογραφία), η οποία:

α) Κατά μία άποψη, που υποστηρίζει ο O. Neugebauer, πιθανόν να χρησιμοποιούνταν για τον υπολογισμό πυθαγόρειων τριάδων.

β) Κατά τον καθηγητή Θ. Εξαρχάκο είναι πίνακας αντίστροφων αριθμών για τη λύση συστημάτων της μορφής $\left.\begin{matrix} \chi\cdot\psi=1 \\ \chi+\psi=\beta \end{matrix}\right\}$ και $\left.\begin{matrix} \chi\cdot\psi=1, \\ \chi-\psi=\beta \end{matrix}\right\}$ και το περιεχόμενό της δεν πιστοποιεί ότι οι Βαβυλώνιοι γνώριζαν το Πυθαγόρειο Θεώρημα και τις πυθαγόρειες τριάδες.

1.3 Η βαβυλωνιακή αστρονομία

Η ρύθμιση των αγροτικών εργασιών αλλά και λόγοι θρησκευτικοί, αστρολογικοί και ημερολογιακοί παρακίνησαν, ήδη από τις αρχές της δεύτερης π.Χ. χιλιετίας, το ενδιαφέρον των ιερέων της Μεσοποταμίας για την παρατήρηση του ουρανού. Μερικές από τις πρώτες προσπάθειές τους ήταν αφιερωμένες στη χαρτογράφηση του

ουρανού - στην αναγνώριση και στην ονομασία των πιο σημαντικών αστέρων, στην παρατήρηση των μεταξύ τους θέσεων και στη σύνδεση της εμφάνισής τους στον ουρανό με τις εποχές. Οι παρατηρήσεις τούς έδωσαν επίσης τη δυνατότητα να αναγνωρίσουν τους «επτά« πλανήτες (Ερμή, Αφροδίτη, Άρη, Δία, Κρόνο, καθώς και τον ήλιο και τη σελήνη, οι οποίοι θεωρούνταν και αυτοί πλανήτες, αφού μετατοπίζονται σε σχέση με τους απλανείς αστέρες), καθώς και τη στενή λωρίδα του ζωδιακού κύκλου, εντός της οποίας διενεργείται η κίνησή τους. Μέχρι τον 5ο π.Χ. αι. είχαν επίσης αναγνωρίσει τους αστερισμούς που χωρίζουν το ζωδιακό κύκλο σε δώδεκα τμήματα των 30^0 το καθένα (ζώδια).

Δε θα κάνουμε αναφορά στην αστρολογική πλευρά της βαβυλωνιακής αστρονομίας. Θα αρκεστούμε απλώς να σημειώσουμε πως οι αστρολογικές ανάγκες αποτέλεσαν σημαντικό κίνητρο για την ανάπτυξη ενός είδους **μαθηματικής αστρονομίας**, που έφθασε στη μέγιστη ακμή της τους τρεις τελευταίους π.Χ. αι., στην περίοδο των Σελευκιδών. Κύριο χαρακτηριστικό αυτής της αστρονομίας ήταν η χρησιμοποίηση αριθμητικών μοντέλων - αντίθετα με τα γεωμετρικά μοντέλα που, όπως θα δούμε αργότερα, χρησιμοποιούσαν οι Αρχαίοι Έλληνες αστρονόμοι. Τα αριθμητικά αυτά μοντέλα (που είχαν συνήθως τη μορφή απλών αριθμητικών προόδων) επέτρεπαν στους Βαβυλώνιους αστρονόμους-ιερείς, παρακολουθώντας τις καθημερινές θέσεις του ήλιου, της σελήνης και των πλανητών στο ζωδιακό κύκλο και προβάλλοντας τις παρατηρήσεις του παρελθόντος στο μέλλον, να προβλέπουν διάφορα φαινόμενα, όπως είναι η εμφάνιση της νέας σελήνης (πράγμα πολύ σημαντικό για το βαβυλωνιακό ημερολόγιο, καθώς η νέα σελήνη σήμαινε την αρχή ενός νέου μήνα), οι εκλείψεις της σελήνης, το ενδεχόμενο να συμβεί ή όχι ηλιακή έκλειψη κτλ.

2 ΤΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ Η ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΣΤΗΝ ΑΙΓΥΠΤΟ

Ο αιγυπτιακός πολιτισμός, όπως και ο πολιτισμός της Μεσοποταμίας, είναι ένας από τους αρχαιότερους πολιτισμούς που αναπτύχθηκαν εδώ και πέντε χιλιάδες χρόνια στις παραποτάμιες κοιλάδες της Ασίας και της Αφρικής. Φαίνεται ότι ήταν ένας από τους πιο ειρηνικούς πολιτισμούς. Στην ιστορία της Μεσοποταμίας, για παράδειγμα, μεγάλο μέρος καταλαμβάνουν οι συνεχείς πόλεμοι στους οποίους είχαν εμπλακεί οι λαοί της για περισσότερα από δύο χιλιάδες χρόνια - για να περιοριστούμε στην προχριστιανική μόνο περίοδο. Από την ελληνική ιστορία, εξάλλου, γνωρίζουμε ότι στην Αρχαία Ελλάδα επίσης, οι πόλεμοι ήταν ένα μάλλον συχνό φαινόμενο. Το ακριβώς αντίθετο συνέβαινε στην Αίγυπτο. Γράφει σχετικά με αυτό ο O. Neugebauer: «Ανάμεσα σε όλους τους αρχαίους πολιτισμούς, ο πιο ευχάριστος



Αιγύπτιος γραφέας. Αγαλματίδιο από ασβεστόλιθο που χρονολογείται από το Παλαιό Βασίλειο (Πέμπτη Δυναστεία), γύρω στο έτος 2500 π.Χ. Σήμερα φυλάσσεται στο Μουσείο του Λούβρου.

ήταν νομίζω ο αιγυπτιακός. Προστατευμένη καθώς είναι από την έρημο και τη θάλασσα, η κοιλάδα του Νείλου δεν ευνόησε την υπερβολική ανάπτυξη του ηρωικού πνεύματος που, τόσο συχνά, έκανε τη ζωή στην Ελλάδα αληθινή κόλαση. Ίσως να μην υπάρχει άλλη χώρα στην αρχαιότητα όπου να διατηρήθηκε για τόσο μεγάλο διάστημα ένας ειρηνικός και ασφαλής πολιτισμένος βίος. Οπωσδήποτε, ούτε η Αίγυπτος γλίτωσε τις βίαιες εξωτερικές και εσωτερικές συγκρούσεις, όμως σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι η ειρήνη στη Μεσοποταμία και στην Ελλάδα πρέπει να ήταν τόσο σπάνια κατάσταση όσο ήταν ο πόλεμος στην Αίγυπτο.»

Ο αιγυπτιακός πολιτισμός φημίζεται για την εκλεπτυσμένη τέχνη και για τον πλούτο των τεχνικών και πρακτικών επιτευγμάτων που συνδέονται με την κατασκευή μεγάλων μνημείων, όπως είναι οι πυραμίδες, οι οβελίσκοι και οι κολοσσοί. Σε ό,τι αφορά τις επιστημονικές γνώσεις, αυτές πρέπει να συναχθούν από ελάχιστα κείμενα που διασώζονται, καθώς οι πάπυροι στους οποίους έγραφαν συνήθως οι Αρχαίοι Αιγύπτιοι είναι ένα υλικό που αντέχει πολύ λίγο στο χρόνο.

Τα κείμενα μαθηματικού και αστρονομικού περιεχομένου που διασώζονται από τον αιγυπτιακό πολιτισμό και είναι προγενέστερα της ελληνιστικής περιόδου (για την ελληνιστική περίοδο βλ. κεφάλαιο 2, ενότητα 5) είναι πολύ λίγα. Συνήθως είναι γραμμένα στην ιερατική γραφή και τα περισσότερα χρονολογούνται από την περίοδο 1850-1650 π.Χ. Αποτελούν επομένως, όπως εξάλλου συμβαίνει και με τις βαβυ-

λωνιακές πινακίδες, αυθεντικά τεκμήρια, τα οποία διασώζονται όπως ακριβώς τα παρέδωσαν οι ίδιοι οι γραφείς τους, χωρίς να μεσολαβούν διαδικασίες επανειλημμένης αντιγραφής που εμπεριέχουν κινδύνους αλλοιώσεων, κάτι που συμβαίνει με τα κείμενα της αρχαίας ελληνικής γραμματείας. Το σημαντικότερο όλων των κειμένων είναι ο περίφημος «πάπυρος Rhind», που οφείλει την ονομασία του στον Σκοτσέζο δικηγόρο A.H. Rhind (Ριντ, 1833-1863), ο οποίος τον αγόρασε το 1858 στο Λούξορ. Ο πάπυρος αντιγράφτηκε περί το 1650 π.Χ. από τον γραφέα A'h-Mosé (στα ελληνικά αποδίδεται συνήθως ως Άχμες ή Αχμής, είναι πιθανό πάντως να πρόκειται για το γνωστό - από αναφορές Ελλήνων συγγραφέων - όνομα Άμασις), και προέρχεται από ένα πρωτότυπο που χρονολογείται από το 1850 π.Χ. Σήμερα φυλάσσεται στο Βρετανικό Μουσείο του Λονδίνου.

Οι Αρχαίοι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν τρία διαφορετικά είδη γραφής: την **ιερογλυφική**, για επιγραφές σε μνημεία και σε σκληρές επιφάνειες, την **ιερατική**, που ήταν ένα είδος συνεχούς μορφής της ιερογλυφικής προσαρμοσμένο κατάλληλα για γραφή στη μαλακή επιφάνεια ενός παπύρου ή ενός δέρματος, και, τέλος, τη **δημοτική**, που χρησιμοποιούνταν για τις καθημερινές ανάγκες από τον 7ο π.Χ. αι. και μετά. Με την ανακάλυψη της «λίθου της Ρωσέττης» το 1799 και την ανάγνωσή της στη δεκαετία 1820/30 από τον J.F. Champollion (Σαμπολιόν), επιλύθηκε το πρόβλημα της αποκρυπτογράφησης των ιερογλυφικών και στη συνέχεια της ιερατικής γραφής.

2.1 Η αιγυπτιακή αριθμητική

Το αιγυπτιακό σύστημα αρίθμησης ήταν δεκαδικό και βασιζόταν στην απλή επαναληπτική αρχή σύμφωνα με την οποία διαφορετικά σύμβολα για τις διαδοχικές δυνάμεις του 10 επαναλαμβάνονταν όσες φορές χρειαζόταν ώστε να σχηματιστεί ο εκάστοτε αριθμός. Στην ιερογλυφική γραφή, οι δυνάμεις του 10 από το 10^0 ως το 10^6 γράφονταν ως εξής:

Με αυτά τα επτά σύμβολα οι Αιγύπτιοι ήταν σε θέση να γράφουν οποιονδήποτε ακέραιο αριθμό από το 1 ως το 9.999.999, και αυτό αρκούσε για τις καθημερινές

1	10	100	1 000	10 000	100 000	1 000 000

απαιτήσεις τους. Σε ό,τι αφορά δε τα κλάσματα, δεν γνώριζαν παρά μόνο τα κλάσματα με αριθμητή τη μονάδα (που θα τα ονομάζουμε «κλασματικές μονάδες»), καθώς και το κλάσμα 2/3.

Σε ένα τέτοιο αριθμητικό σύστημα η πρόσθεση των ακέραιων αριθμών δεν παρουσιάζει καμιά δυσκολία. Αρκούσε απλώς να αντικαθίστανται δέκα όμοια σύμβο-

λα με ένα σύμβολο της αμέσως επόμενης τάξης. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει αντίθετα η πράξη του πολλαπλασιασμού. Η **αιγυπτιακή μέθοδος πολλαπλασιασμού** βασίζεται στις πράξεις του διπλασιασμού, του υποδιπλασιασμού και, τέλος, της πρόσθεσης.

Αυτή η μέθοδος πολλαπλασιασμού αποτελεί τη βάση ολόκληρης της αιγυπτιακής αριθμητικής. Αν και ήταν πολύ αρχαία, διατηρήθηκε χωρίς αλλαγές στην ελληνιστική περίοδο. Μάλιστα, στα ελληνικά σχολεία των πρώτων μεταχριστιανικών αιώνων διδασκόταν ως «αιγυπτιακός λογισμός». Σε ό,τι αφορά, τέλος, τη διαίρεση οι Αιγύπτιοι δεν τη θεωρούσαν ξεχωριστή πράξη. Έτσι, τη διαίρεση λ.χ. 156:12 τη διατύπωναν λέγοντας «πολλαπλασίασε με το 12 μέχρι να βρεις 156», και την εκτελούσαν σαν πολλαπλασιασμό.

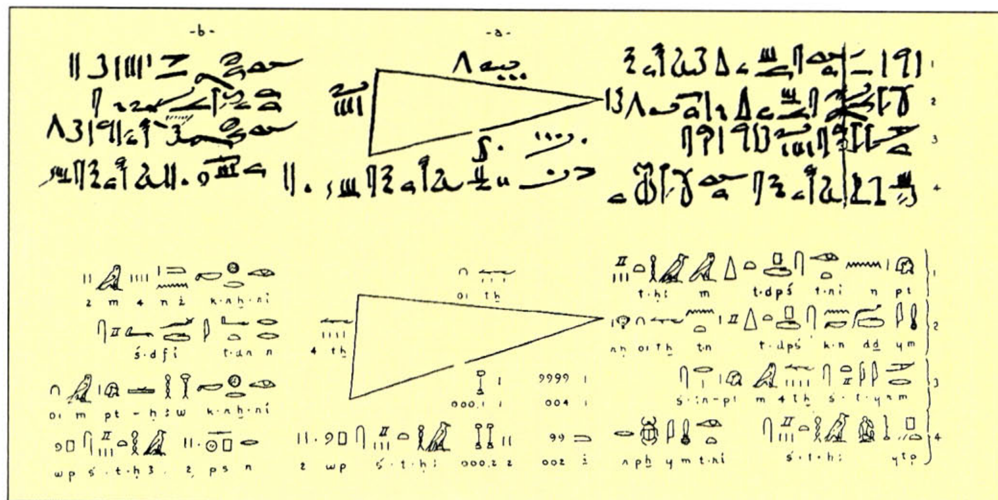
Για να πολλαπλασιάσει το 12 με το 7 ο Αιγύπτιος εργαζόταν ως εξής:

1	7	δηλαδή	1 (φορά το 7)	7
2	14	δηλαδή	2 (φορές το 7)	14
\ 4	28	δηλαδή	4 (φορές το 7 ή 2 φορές το 14)	28
\ 8	56	δηλαδή	8 (φορές το 7 ή 2 φορές το 28)	56
άθροισμα	84			

Στο τέλος, 4 φορές το 7 και 8 φορές το 7 προστίθενται, για να έχουμε 12 φορές το 7, που είναι ίσο με 28 + 56 = 84. Οι πλάγιες γραμμές αριστερά δηλώνουν ακριβώς τους αριθμούς που πρέπει να προστεθούν.

2.2 Η αιγυπτιακή γεωμετρία

Η αιγυπτιακή γεωμετρία βρισκόταν στο ίδιο περίπου στοιχειώδες επίπεδο όπως και στη Μεσοποταμία, με τη σημαντική διαφορά ότι **οι Αιγύπτιοι αγνοούσαν τις μετρικές σχέσεις των ορθογωνίων τριγώνων**. Και εδώ δεν υπάρχει η παραμικρή νύξη για θεωρήματα και αποδείξεις. Το περιεχόμενό της ήταν ο υπολογισμός εμβαδών και όγκων διαφόρων σχημάτων με βάση κανόνες, άλλοι από τους οποίους ήταν σωστοί και άλλοι όχι. Τα πιο αξιόλογα αποτελέσματα είναι ο υπολογισμός του όγκου μιας κόλουρης πυραμίδας ειδικής μορφής (με τετραγωνική βάση και μια παράπλευρη ακμή κάθετη στη βάση) και ο υπολογισμός του εμβαδού του κύκλου με βάση έναν κανόνα που αντιστοιχεί στον τύπο $E = [(1 - 1/9)d]^2$, όπου d η διάμετρος. Ο τύπος αυτός οδηγεί στην προσεγγιστική τιμή του $\pi = 256/81 = 3{,}16...$, η οποία είναι αρκετά καλή και ασφαλώς πολύ καλύτερη από την τιμή $\pi = 3$ που χρησιμοποιούσαν οι Βαβυλώνιοι.



Το πρόβλημα 51 του παπύρου Rhind. Στο επάνω μέρος, το κείμενο του προβλήματος στην ιερατική γραφή, όπως εμφανίζεται στον πάπυρο. Στο κάτω μέρος, η "μεταγραφή" του στα ιερογλυφικά. Οι αιγυπτιολόγοι χρησιμοποιούν πάντοτε τη μέθοδο της "μεταγραφής" των κειμένων από τα ιερατικά στα ιερογλυφικά, προτού τα μεταφράσουν τελικά σε μια σύγχρονη γλώσσα.

2.3 Η επίδραση της αιγυπτιακής επιστήμης

Οι Αρχαίοι Έλληνες επαινούσαν συχνά τις μαθηματικές ικανότητες των Αιγυπτίων και θεωρούσαν ότι τα μαθηματικά κατάγονται από την Αίγυπτο. Εξετάζοντας, όμως, συνολικά τα αιγυπτιακά μαθηματικά, δεν μπορούμε να κρύψουμε ένα αίσθημα απογοήτευσης σε ό,τι αφορά το επίπεδό τους, όση εκτίμηση κι αν έχουμε για μερικά επιμέρους επιτεύγματα. Οι δύσκαμπτοι αριθμητικοί υπολογισμοί, ο περίπλοκος κλασματικός λογισμός, που οφείλεται στην απουσία άλλων κλασμάτων πλην των κλασματικών μονάδων, και η χρησιμοποίηση της γεωμετρίας ως εφαρμοσμένης αριθμητικής, κάθε άλλο παρά ευνόησαν την ανάπτυξη των μαθηματικών και ασφαλώς δεν αποτέλεσαν καλή παρακαταθήκη για την ανάπτυξη του λαμπρού οικοδομήματος των ελληνικών μαθηματικών.

Εξαιρετικά πρωτόγονη ήταν επίσης η αιγυπτιακή αστρονομία, η οποία σε ένα μόνο σημείο άσκησε ευεργετική επίδραση στους Έλληνες αστρονόμους: στη χρήση ενός ημερολογίου, το οποίο ο Neugebauer χαρακτηρίζει ως το πιο έξυπνο ημερολόγιο που υπήρξε ποτέ στην ιστορία του ανθρώπου. Το **αιγυπτιακό ημερολόγιο** περιλάμβανε 12 μήνες με 30 ημέρες ο καθένας και 5 επιπλέον ημέρες στο τέλος του χρόνου. Δημιουργήθηκε από καθαρά πρακτικές ανάγκες, χωρίς την παραμικρή μέριμνα για

την επίλυση αστρονομικών προβλημάτων. Η απλότητα και ο σταθερός χαρακτήρας του ημερολογίου αυτού, έναντι όχι μόνο του βαβυλωνιακού αλλά και των ελληνικών ημερολογίων (με τις ποικίλες παρεμβολές που υπαγορεύονταν από την ανάγκη να συμβαδίζουν, στη διάρκεια μιας περιόδου, οι ηλιακοί με τους σεληνιακούς κύκλους), κατέστησαν το αιγυπτιακό ημερολόγιο εξαιρετικά εύχρηστο για αστρονομικούς υπολογισμούς, και την αρετή του αυτή την αναγνώρισαν απόλυτα οι αστρονόμοι της ελληνιστικής εποχής.

Ερωτήσεις

1) Να περιγράψετε τα βασικά χαρακτηριστικά του βαβυλωνιακού αριθμητικού συστήματος. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματά του; Να αναφέρετε ομοιότητες και διαφορές με το αριθμητικό σύστημα που χρησιμοποιούμε εμείς σήμερα.

2) Να μετατρέψετε τους αριθμούς του παραδείγματος της παραγράφου 1.2 («Η βαβυλωνιακή γεωμετρία») από το εξηκονταδικό στο γνωστό μας δεκαδικό σύστημα και να επαληθεύσετε κατόπιν τον τύπο του Πυθαγορείου θεωρήματος. (*)

3) Να αναφέρετε μία σημαντική, κατά τη γνώμη σας, συμβολή των Αιγυπτίων στην ιστορία των φυσικομαθηματικών επιστημών. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

4) Να συγκρίνετε τη συνεισφορά στις φυσικομαθηματικές επιστήμες των Αιγυπτίων και των Βαβυλωνίων. Ποιες ομοιότητες και ποιες διαφορές εντοπίζετε;

5) Να περιγράψετε με συντομία το είδος των πηγών από τις οποίες αντλούμε τις γνώσεις μας για τη βαβυλωνιακή και την αιγυπτιακή επιστήμη. Ποιες είναι οι ιστοριογραφικές συνέπειες που το είδος των πηγών έχει για την ανασυγκρότηση της ιστορίας της επιστήμης στις αντίστοιχες περιόδους;

** Οι ερωτήσεις με αστερίσκο είναι προαιρετικές*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Η ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗ

Περισσότερα από χίλια χρόνια θα μεσολαβήσουν από την εποχή που γράφτηκαν τα παλαιο-βαβυλωνιακά μαθηματικά κείμενα και ο αιγυπτιακός πάπυρος του Rhind ώσπου να χαράξει μια νέα εποχή στην ιστορία της επιστήμης, η εποχή της ελληνικής επιστήμης. Εδώ οφείλουμε να διευκρινίσουμε ότι λέγοντας «ελληνική επιστήμη» δεν εννοούμε απλώς την επιστήμη που αναπτύχθηκε εντός των συνόρων της σημερινής Ελλάδας, αλλά την επιστημονική δραστηριότητα που ανέπτυξαν οι άνθρωποι που μιλούσαν και έγραφαν στην ελληνική γλώσσα. Έτσι, η πρώιμη ελληνική επιστήμη του 6ου και του 5ου π.Χ. αι. αναπτύχθηκε κυρίως από πληθυσμούς που κατοικούσαν στην Ιωνία, στα δυτικά παράλια της Μικράς Ασίας και στη Μεγάλη Ελλάδα (Σικελία και Κάτω Ιταλία). Τον 4ο π.Χ. αι. το κέντρο της επιστημονικής δραστηριότητας μεταφέρθηκε στην Αθήνα και ιδίως στην Ακαδημία που ίδρυσε ο Πλάτων περί το 385 π.Χ. και στο Λύκειο που ίδρυσε ο Αριστοτέλης το 337/6 π.Χ., καθώς με τα δύο αυτά κορυφαία πνευματικά ιδρύματα συνδέθηκαν με τον ένα ή με τον άλλο τρόπο όλοι σχεδόν οι διανοητές του 4ου π.Χ. αι. τους οποίους γνωρίζουμε, από οποιοδήποτε μέρος της Ελλάδας κι αν κατάγονταν. Στην ελληνιστική περίοδο εξάλλου, η πιο σημαντική εστία επιστημονικής έρευνας γίνεται η Αλεξάνδρεια της σημερινής Αιγύπτου. Εκεί γράφονται τα δύο πιο γνωστά ελληνικά επιστημονικά συγγράμματα, τα *Στοιχεία* [ή *Στοιχείωσις*] του Ευκλείδη και η *Μαθηματική σύνταξις* του Πτολεμαίου. Τέλος, για να αναφέρουμε ένα ακόμη παράδειγμα, ο Νικόμαχος, συγγραφέας μιας *Αριθμητικής εισαγωγής* που άσκησε μεγάλη επίδραση σ' όλη τη διάρκεια του Μεσαίωνα, έζησε τον 1ο μ.Χ. αι. στην πόλη Γέρασα της Παλαιστίνης, όχι μακριά από την Ιερουσαλήμ. Από τα λίγα αυτά παραδείγματα βλέπουμε ότι η ελληνική επιστήμη απλώνεται σε μια έκταση που ξεπερνά κατά πολύ τα όρια της σημερινής Ελλάδας, ενώ πολύ μεγάλη είναι και η χρονική περίοδος που καλύπτει, αφού, όπως θα δούμε, αρχίζει ήδη από τον 6ο π.Χ. αι., για να διαρκέσει ως τον 6ο μ.Χ. αιώνα.

1 ΟΙ ΠΡΟΣΩΚΡΑΤΙΚΟΙ ΦΥΣΙΚΟΙ ΦΙΛΟΣΟΦΟΙ ΚΑΙ Ο «ΚΟΣΜΟΣ»

Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΟΡΟΥ «ΠΡΟΣΩΚΡΑΤΙΚΟΣ»

Ο όρος «προσωκρατικός» μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο διαφορετικές σημασίες:

1. Για να δηλώσει τους Αρχαίους Έλληνες διανοητές που άκμασαν πριν από το θάνατο του Σωκράτη (399 π.Χ.).

2. Για να δηλώσει όλους εκείνους τους διανοητές που δε συνδέονταν με τη φιλοσοφική σχολή του Σωκράτη και του Πλάτωνα, περιλαμβανομένων και των σοφιστών, μερικοί από τους οποίους ήταν σύγχρονοι ή και κατά τι μεταγενέστεροι του Σωκράτη.

Με τη δεύτερη αυτή σημασία χρησιμοποιεί τον όρο ο H. Diels (Ντιλς) στο μνημειώδες έργο του *Die Fragmente der Vorsokratiker* [Τα αποσπάσματα των Προσωκρατικών].

Με τους Προσωκρατικούς, ειδικά με τους Μιλήσιους φιλοσόφους, αρχίζει να πραγματοποιείται μια μεγάλη μεταλλαγή στην κατανόηση και την ερμηνεία του φυσικού κόσμου, που ολοκληρώθηκε τους επόμενους αιώνες με τα λαμπρά επιτεύγματα της αρχαιοελληνικής σκέψης.

Σύμφωνα με τον ιστορικό της αρχαίας ελληνικής φιλοσοφίας και επιστήμης Geoffrey E.R. Lloyd (Τζέφρυ Λόυντ) υπάρχουν δύο κύρια χαρακτηριστικά που πρωτοεμφανίζονται με τους προσωκρατικούς φιλοσόφους και τους διαχωρίζουν από όλους τους προηγούμενους στοχαστές, Έλληνες και μη. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι:

- η ανακάλυψη της φύσης και η έξωση του υπερφυσικού από τις ερμηνείες των φυσικών φαινομένων,
- η πρακτική της δημόσιας αντιπαράθεσης απόψεων και της ορθολογικής κριτικής.

Ο Lloyd με τον όρο «ανακάλυψη της φύσης» εννοεί την κατανόηση από τους προσωκρατικούς φιλόσοφους της διαφοράς μεταξύ του φυσικού και του υπερφυσικού. Για πρώτη φορά στην ιστορία, κάποια φυσικά φαινόμενα δε θεωρούνται πια ως το αποτέλεσμα τυχαίων ή αυθαίρετων υπερφυσικών επιρροών αλλά ως το αποτέλεσμα κανονικών και προσδιορίσιμων ακολουθιών από φυσικές **«αιτίες»** και **«αποτελέσματα»**. Ταυτόχρονα, για πρώτη φορά δημιουργείται η έννοια της κατηγορίας φαινομένων, δηλαδή φαινομένων που πρέπει να έχουν κοινά ή παρόμοια αίτια. Παρά το ότι οι περισσότερες από τις ερμηνείες που έδωσαν στα φυσικά φαινόμενα ήταν επηρεασμένες από παλαιότερες μυθικές αντιλήψεις, διέφεραν ουσιαστικά από τις αντίστοιχες μυθικές εξιστορήσεις, γιατί απέφευγαν κάθε αναφορά σε υπερφυσικές δυνάμεις. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι οι προσωκρατικοί φιλόσοφοι ήταν άθεοι. Αναφέρεται ότι ο Θαλής πίστευε ότι «όλα τα πράγματα είναι γεμάτα θεότητες». Ενώ, λοιπόν, οι θεότητες συχνά διατηρούσαν ουσιαστική θέση στις κοσμολογικές θεωρίες τους, το υπερφυσικό δεν περιλαμβανόταν στις *ερμηνείες* τους.

Ας αναφέρουμε ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα, για να γίνει κατανοητή αυτή η ουσιαστική μεταλλαγή που έγινε στη σκέψη των στοχαστών αυτών. Η ερμηνεία που ο Θαλής έδωσε για τους σεισμούς ήταν ότι η γη επέπλεε στη θάλασσα και οι σεισμοί ήταν το αποτέλεσμα ισχυρών κυμάτων που από καιρό σε καιρό την κτυπούσαν. Η εικόνα της γης που επιπλέει στο νερό ήταν συνηθισμένη στους αιγυπτιακούς και στους βαβυλωνιακούς μύθους. Υπεύθυνοι όμως για κάθε συγκεκριμένο σεισμό στις μυθικές εξιστορήσεις ήταν κάθε φορά οι Θεοί που έλεγχαν τα ύδατα. Αιτία των σεισμών ήταν η οργή τους, που οφειλόταν κάθε φορά σε μια διαφορετική αιτία. Ακόμη και στην ελληνική μυθολογία η ιδέα ότι υπεύθυνος για τους σεισμούς ήταν ο Ποσειδώνας, ο Θεός των υδάτων, ήταν τρέχουσα. Ο Θαλής και η Μιλήσια σχολή της σκέψης δεν αρνήθηκαν την ύπαρξη του Ποσειδώνα, αλλά δεν τη χρησιμοποίησαν στην ερμηνεία που έδωσαν στο φαινόμενο των σεισμών. Όπως χαρακτηριστικά αναφέρει στο βιβλίο του *Η επιστήμη στην Αρχαία Ελλάδα* (1944), ο ιστορικός της ελληνικής επιστήμης B. Farrington (Φάρρινκτον) «οι Μιλήσιοι άφησαν τους Θεούς απέξω». Ο θυμός ή οι έρωτες του Δία ή του Ποσειδώνα, οι οποίοι στον Όμηρο και στον Ησίοδο αποτελούσαν αιτίες της «συμπεριφοράς» της φύσης, για τους Μιλήσιους παύουν να παίζουν ρόλο. Μέσα από τη μεταλλαγή αυτή οι προσωκρατικοί φιλόσοφοι πραγματοποίησαν ένα μεγάλο βήμα στη μακρά και επίπονη πορεία του ανθρώπου προς την ορθολογική γνώση και ερμηνεία του φυσικού κόσμου.

Η έξωση των θεοτήτων από την ερμηνεία των φυσικών φαινομένων είχε και ένα άλλο άμεσο και ουσιαστικό αποτέλεσμα. Δεν υπήρχε πια η ανάγκη να ερμηνευθεί ο εκάστοτε «συγκεκριμένος» σεισμός με διαφορετική κάθε φορά αιτία. Η αιτία όλων των σεισμών έπρεπε να είναι η ίδια. Οι σεισμοί (και άλλα φυσικά φαινόμενα βέβαια) άρχισαν να γίνονται κατανοητοί ως κατηγορία φαινομένων με τα ίδια χαρακτηριστικά. Έτσι, για πρώτη φορά οι ερμηνείες αφορούσαν σε κατηγορίες φυσικών φαινομένων και, επομένως, έπρεπε να αναφέρονται στα γενικά και κύρια χαρακτηριστικά και όχι στα ειδικά και περιπτωσιακά.

Το δεύτερο ουσιαστικό χαρακτηριστικό, κοινωνικό αυτή τη φορά, φαίνεται ότι υπήρξε η **δημόσια κριτική συζήτηση των απόψεων στο πλαίσιο της πόλης**. Οι φιλόσοφοι όχι μόνο γνώριζαν τις ιδέες και τις αντιλήψεις των συγχρόνων και των παλαιοτέρων τους αλλά και έκριναν ο ένας τις ιδέες του άλλου. Η δημόσια αποδοχή ή κριτική των ιδεών για τη φύση και τον υλικό κόσμο αποτελούσαν μέρος της διαδικασίας για τη νομιμοποίησή τους, δηλαδή συνιστούσαν απαραίτητο όρο για να γίνουν ευρύτερα αποδεκτές.

Δυστυχώς έχουν διασωθεί ελάχιστα εδάφια από τα έργα των προσωκρατικών φιλοσόφων. Έτσι δε γνωρίζουμε από πρώτο χέρι τις θεωρίες τους για τη φύση. Βασιζόμαστε σε όσα γράφτηκαν πολύ αργότερα γι' αυτούς. Οι έρευνές τους πρέπει να



Ψηφιδωτό του 1ου π.Χ. αι. που απεικονίζει, κατά την πιθανότερη εκδοχή, τους επτά σοφούς και κατά μια άλλη εκδοχή τον Πλάτωνα να διδάσκει γεωμετρία. Νεάπολη, Εθνικό Μουσείο.

ήταν περιορισμένες σε ορισμένες θεματικές περιοχές και ο τρόπος που γίνονταν δεν είχε βέβαια σχέση με τον τρόπο που σήμερα γίνεται η μελέτη της φύσης. Στην πραγματικότητα δεν επρόκειτο για ένα διαμορφωμένο σύστημα έρευνας με συγκεκριμένες μεθοδολογίες. Πολύ περισσότερο δεν είχαν την έννοια της «επιστημονικής έρευνας», όπως την εννοούμε σήμερα. Πολλές άλλωστε από τις έννοιες που χρησιμοποίησαν για να ερμηνεύσουν τη λειτουργία του υλικού κόσμου είχαν στην εποχή τους διαφορετική σημασία από αυτήν που απέκτησαν αργότερα, την εποχή της ακμής της κλασικής φιλοσοφίας. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι έννοιες της «ύλης» και της «ουσίας», που θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε, εάν θέλουμε να διατυπώσουμε τα προβλήματα που τους απασχόλησαν· οι έννοιες αυτές, όμως, πήραν το τελικό τους περιεχόμενο περίπου τον 4ο π.Χ. αιώνα.

Με βάση τα προηγούμενα, θα πρέπει να είμαστε εξαιρετικά προσεκτικοί, όταν μελετάμε τις απόψεις των Προσωκρατικών για τη φύση, αποφεύγοντας τις εύκολες αναγωγές σε σημερινά επιστημονικά προβλήματα.

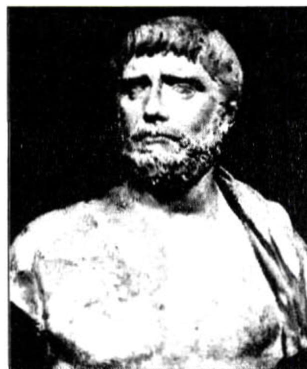
2 ΤΑ ΠΡΟΕΥΚΛΕΙΔΕΙΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ

Οι γνώσεις μας για τα μαθηματικά που αναπτύχθηκαν τον 6ο και τον 5ο π.Χ. αι. είναι αποσπασματικές. Κανένα κείμενο της εποχής δε διασώζεται ακέραιο και οι πληροφορίες που έχουμε προέρχονται από συγγραφείς που έζησαν έως και 1000

χρόνια αργότερα. Τις περισσότερες πληροφορίες τις αντλούμε από την επισκόπηση της ιστορίας της γεωμετρίας που περιέλαβε ο Νεοπλατωνικός φιλόσοφος Πρόκλος στο σχόλιό του, στο πρώτο βιβλίο των Στοιχείων του Ευκλείδη. Αν και ο Πρόκλος έζησε τον 5ο μ.Χ. αι., η επισκόπησή του θεωρείται αρκετά αξιόπιστη, γιατί βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη χαμένη σήμερα *Ιστορία της γεωμετρίας* που είχε γράψει ο μαθητής του Αριστοτέλη Εύδημος, δηλαδή ένας συγγραφέας που έζησε σε μια εποχή αρκετά κοντινή προς την περίοδο που εξετάζουμε.

2.1 Η σχολή της Ιωνίας

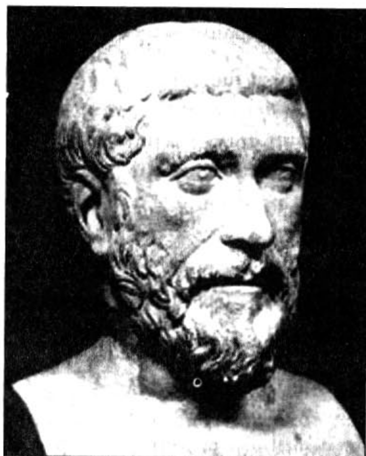
Στην επισκόπησή του ο Πρόκλος παραθέτει με χρονολογική σειρά τα ονόματα των επιφανέστερων Ελλήνων μαθηματικών που έζησαν πριν από τον Ευκλείδη. Αυτός ο «Κατάλογος των γεωμετρών» αρχίζει με το Θαλή (περ. 624-547 π.Χ.). Ωστόσο, παρ' όλο που η μνεία του ονόματος του Μιλήσιου σοφού στην αρχή του «Καταλόγου» έχει χαράξει τη μνήμη των αιώνων, η ιστορική κριτική είναι επιφυλακτική ως προς την αλήθεια των διαφόρων αφηγήσεων που μας έχει μεταφέρει η παράδοση για τα επιτεύγματά του, δεδομένου μάλιστα ότι ο ίδιος ο Θαλής δε φαίνεται να έγραψε ποτέ κανένα βιβλίο. Η παράδοση, λοιπόν, αποδίδει στο Θαλή την πρόβλεψη της έκλειψης ηλίου του έτους 585 π.Χ., την εφαρμογή του κριτηρίου Γωνία - Πλευρά - Γωνία της ισότητας των τριγώνων, την ανακάλυψη των θεωρημάτων για την ισότητα των παρά τη βάση γωνιών ενός ισοσκελούς τριγώνου και για την ισότητα των κατά κορυφή γωνιών, την κατασκευή του περιγεγραμμένου κύκλου σε ένα ορθογώνιο τρίγωνο, και την απόδειξη της πρότασης ότι η διάμετρος χωρίζει τον κύκλο σε δύο ίσα μέρη. Δεν είναι δυνατόν, φυσικά, να γίνεται λόγος για αληθινές αποδείξεις των προτάσεων αυτών από το Θαλή. **Την εποχή εκείνη έλειπαν τόσο το λογικό υπόβαθρο όσο και η αξιωματική συγκρότηση που κάνουν δυνατή μια μαθηματική απόδειξη.**


Θαλής ο Μιλήσιος.

Επομένως, η συμβολή του Θαλή δεν πρέπει να αναζητηθεί σ' αυτά. Τότε, όμως, που θα πρέπει να την αναζητήσουμε; Αν εξετάσουμε προσεκτικά τις παραπάνω προτάσεις, θα διαπιστώσουμε ότι όλες σχεδόν περιστρέφονται γύρω από τις έννοιες της **συμμετρίας** και της **ισότητας γωνιών**. Ίσως, λοιπόν, να μην είμαστε μακριά από την πραγματικότητα, αν πούμε ότι τα θέματα που μελέτησε ο Θαλής ήταν **η ομοιότητα μερικών απλών σχημάτων με ίσες γωνίες, οι συνθήκες κάτω από τις οποίες μια ομοιότητα μετατρέπεται σε ισότητα και οι ιδιότητες μερικών συμμετρικών σχημάτων**.

Έστω και σ' αυτόν τον πυρήνα των ιδεών αν περιορίζεται, η συμβολή του Θαλή, και γενικότερα των Ιώνων γεωμετρών του 6ου π.Χ. αι., είναι εξαιρετικά σημαντική.

Όμως η συμβολή τους γίνεται πολύ μεγαλύτερη, αν στα προηγούμενα προσθέσουμε την καινοτομία που για πρώτη φορά εισήγαγαν, να προσδώσουν δηλαδή στο γεωμετρικό σχήμα ένα νέο ρόλο, που ποτέ δεν είχε στο παρελθόν. Στους αιγυπτιακούς παπύρους και στις βαβυλωνιακές πινακίδες συναντάμε μερικές φορές χαραγμένα γεωμετρικά σχήματα· ο ρόλος τους, όμως, ήταν τελείως επουσιώδης, αφού χρησίμευαν απλώς για να σημειώνονται σε αυτά οι αριθμητικές τιμές των δεδομένων του εκάστοτε προβλήματος (π.χ. το μήκος μιας πλευράς). **Με τους Ίωνες το σχήμα γίνεται για πρώτη φορά στην ιστορία αντικείμενο μελέτης και μαθηματικού στοχασμού**. Η χάραξή του, η παρατήρηση των ιδιοτήτων του και στη συνέχεια η δικαιολόγηση του ισχυρισμού (σε ό,τι αφορά τις ιδιότητες) προς τον «άλλο», τον συνομιλητή, είναι μερικά από τα αρχικά στάδια της εξέλιξης της γεωμετρίας που μπορούμε να τα αποδώσουμε στο Θαλή και στη σχολή της Ιωνίας· και αυτή είναι, ίσως, η σημαντικότερη συνεισφορά της σχολής αυτής στην ιστορία των μαθηματικών.

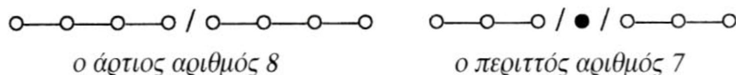


Πυθαγόρας ο Σάμιος.

2.2 Η σχολή των Πυθαγορείων

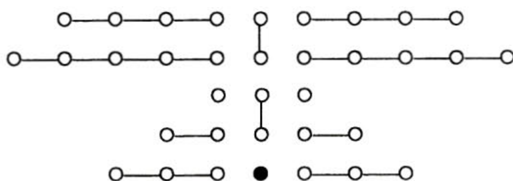
Ύστερα από τους Ίωνες ακολουθούν διαδοχικά η σχολή των Πυθαγορείων και η σχολή της Χίου. Οι πληροφορίες που έχουμε είναι ασυγκρίτως καλύτερα τεκμηριωμένες για τη δεύτερη παρά για την πρώτη. Πράγματι, οι γνώσεις μας για τον Πυθαγόρα (περ. 572-497 π.Χ.) και τους πρώτους μαθητές του αντλούνται αποκλειστικά από έργα μεταγενέστερων συγγραφέων, στους οποίους περιλαμβάνονται και οι λεγόμενοι **«Νεοπυθαγόρειοι»** - όπως ο Νικόμαχος ο Γερασηνός, ο Θέων ο Σμυρναίος (2ος μ.Χ. αι.) και ο Ιάμβλιχος (5ος μ.Χ. αι.) - οι οποίοι είχαν την τάση να αποδίδουν άκριτα στους «παλαιούς», και κυρίως στον ίδιο τον Πυθαγόρα, κάθε είδους επιστημονική γνώση. Οι σύγχρονοί του, όμως, φαίνεται ότι θεωρούσαν τον Πυθαγόρα περισσότερο ως θρησκευτικό προφήτη και λιγότερο ως μαθηματικό. Πρέπει να υπογραμμίσουμε πάντως ότι η διδασκαλία του διέφερε από άλλες αντίστοιχες διδασκαλίες της εποχής ως προς το ότι απέδιδε πολύ μεγάλη σημασία στα Μαθηματικά, πρεσβεύοντας ότι αυτά είναι η οδός για την απελευθέρωση της ψυχής. Το πιο σημαντικό μέρος των μαθηματικών για τους Πυθαγορείους ήταν η Αριθμητική. Γιατί, όπως έλεγε ο Πυθαγόρας, «τα στοιχεία των αριθμών είναι στοιχεία όλων των όντων». Αποδίδοντας, λοιπόν, τόσο μεγάλη σημασία στους αριθμούς, ο Πυθαγόρας και οι μαθητές του επιδόθηκαν στη μελέτη των ιδιοτήτων τους.

Οι Πυθαγόρειοι αντιλαμβάνονταν τους αριθμούς *ως ορισμένα πλήθη ορισμένων αντικειμένων* και τους απεικόνιζαν με **«ψήφους»** (στιγμές). Αυτός ο τρόπος παράστασης τους έδωσε τη δυνατότητα να προβούν σε μια πρώτη βασική ταξινόμηση των αριθμών σε **άρτιους** και **περιττούς**. Έναν άρτιο αριθμό τον παρίσταναν με μια σειρά ψήφων, η οποία μπορεί να χωριστεί σε δύο ίσα μέρη. Ένας περιττός αριθμός, αντίθετα, δεν μπορεί να χωριστεί σε δύο ίσα μέρη, γιατί πάντοτε περισσεύει μία ψήφος.



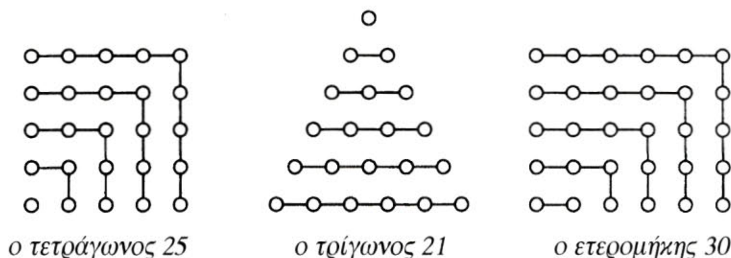
ο άρτιος αριθμός 8 *ο περιττός αριθμός 7*

Με αυτό τον τρόπο παράστασης των αριθμών είναι απλή υπόθεση η δικαιολόγηση μερικών στοιχειωδών θεωρημάτων, όπως, για παράδειγμα, ότι το άθροισμα άρτιων αριθμών είναι άρτιος, το άθροισμα άρτιου πλήθους περιττών είναι άρτιος ή το άθροισμα περιττού πλήθους περιττών είναι περιττός αριθμός. Το τελευταίο θεώρημα, λ.χ., θα μπορούσε να είχε δικαιολογηθεί με ένα σχήμα όπως αυτό που ακολουθεί:



Το σχήμα δείχνει ότι το άθροισμα περιττού πλήθους περιττών αριθμών είναι περιττός.

Άλλο κεφάλαιο της αριθμητικής των Πυθαγορείων αποτελεί η θεωρία των «παραστατικών» αριθμών. Στα σχήματα που ακολουθούν απεικονίζονται τρεις παραστατικοί αριθμοί: ο τετράγωνος 25, ο τρίγωνος 21 και ο ετερομήκης 30 (ετερομήκεις ονομάζονταν οι αριθμοί που μπορούν να γραφούν ως γινόμενο δύο διαδοχικών ακεραίων· ο 30 γράφεται 5·6).



ο τετράγωνος 25 *ο τρίγωνος 21* *ο ετερομήκης 30*

Παρ' όλο που το ενδιαφέρον των Πυθαγορείων για τα μαθηματικά ήταν, όπως είδαμε, επικεντρωμένο κυρίως στην αριθμητική, κύρια συμβολή του Πυθαγόρα στην

ΟΙ ΠΥΘΑΓΟΡΕΙΕΣ ΤΡΙΑΔΕΣ

Το πιο σημαντικό αποτέλεσμα στο οποίο κατέληξαν οι Πυθαγόρειοι από τη μελέτη των παραστατικών αριθμών είναι η μέθοδος για την εύρεση των «πυθαγορείων τριάδων» (τρεις φυσικοί αριθμοί *Α, Β, Γ* αποτελούν πυθαγόρεια τριάδα αν ικανοποιούν τη σχέση $A^2 + B^2 = \Gamma^2$). Πράγματι, ο Πρόκλος αποδίδει στον Πυθαγόρα την εύρεση των πυθαγορείων τριάδων της μορφής $(N, \frac{N^2-1}{2}, \frac{N^2+1}{2})$ όπου Ν περιττός αριθμός μεγαλύτερος του 1, και στον Πλάτωνα την εύρεση των πυθαγορείων τριάδων της μορφής $(N, (N/2)^2 - 1, (N/2)^2 + 1)$, όπου *Ν* άρτιος αριθμός μεγαλύτερος του 2. Από άλλη πηγή πάντως, ο δεύτερος τύπος αποδίδεται στον Πυθαγόρειο Αρχύτα (5ος π.Χ. αι.). Οι ιστορικοί των μαθηματικών έχουν αποδείξει ότι οι παραπάνω τύποι μπορούν εύκολα να δικαιολογηθούν με βάση τη θεωρία των παραστατικών αριθμών.

ιστορία των μαθηματικών από πολλούς θεωρείται το γνωστό θεώρημα για τα ορθογώνια τρίγωνα. Αν και η πραγματική σχέση του ίδιου του Πυθαγόρα με το θεώρημα αυτό δεν είναι εντελώς ξεκαθαρισμένη, σήμερα στα εγχειρίδια γεωμετρίας το «θεώρημα της υποτείνουσας» αναφέρεται με το όνομα «Πυθαγόρειο θεώρημα».

2.3 Η ανακάλυψη της ασυμμετρίας

Πριν αφήσουμε τη σχολή των Πυθαγορείων και έρθουμε στη σχολή της Χίου, πρέπει να σταθούμε σε ένα μείζον επίτευγμα των αρχαίων ελληνικών μαθηματικών, την ανακάλυψη της ασυμμετρίας. Η χρονολογία και ο τρόπος με τον οποίο ανακαλύφθηκε η ασυμμετρία αποτελούν ερωτήματα τα οποία οι υπάρχουσες μαρτυρίες δε μας επιτρέπουν να απαντήσουμε με απόλυτη βεβαιότητα. Ωστόσο σύμφωνα με τον έγκυρο σχολιαστή Πάππο από την Αλεξάνδρεια (4ος μ.Χ. αι.) η ανακάλυψη αυτή έλαβε χώρα στους κόλπους της σχολής των Πυθαγορείων. Σε ό,τι αφορά τη χρονολογία, μόνο υποθέσεις μπορούμε να κάνουμε. Έτσι, αν λάβουμε υπόψη ότι κατά το τελευταίο τέταρτο του 5ου π.Χ. αι. ο Θεόδωρος ο Κυρηναίος απέδειξε την αρρητότητα, όπως θα λέγαμε σήμερα, των αριθμών $\sqrt{3}, \sqrt{5}, ..., \sqrt{17}$, παραλείποντας δηλαδή την περίπτωση του $\sqrt{2}$, συμπεραίνουμε ότι η αρρητότητα του $\sqrt{2}$ πρέπει να είχε ήδη αποδειχθεί την εποχή αυτή. Μπορούμε, λοιπόν, να υποθέσουμε ότι η ασυμμετρία ανακαλύφθηκε σε μια εποχή που δεν απέχει πολύ από το έτος 430 π.Χ.

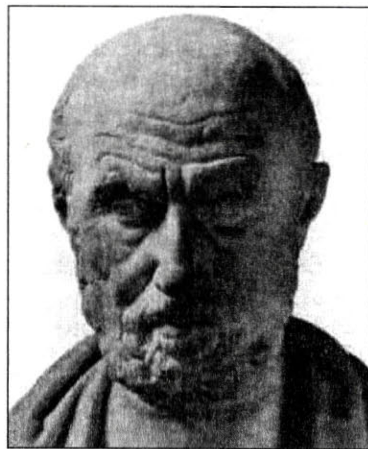
Επειδή η αρρητότητα του $\sqrt{2}$ εκφράζει την ασυμμετρία της πλευράς και της διαγωνίου του τετραγώνου (τη μη ύπαρξη, δηλαδή, κοινής μονάδας μέτρησης που να διαιρεί το κάθε ευθύγραμμο τμήμα ακέραιο αριθμό φορών), φαίνεται ότι η ασυμμετρία διαπιστώθηκε για πρώτη φορά σε αυτά τα ευθύγραμμα τμήματα. Ποια ήταν, όμως, η απόδειξη; Πραγματικά δε γνωρίζουμε. Διασώζεται πάντως μια αρκετά πρώιμη αριθμοθεωρητική απόδειξη, την οποία περιγράφει συνοπτικά ο Αριστοτέλης στο

έργο του *Αναλυτικά Ύστερα*, και παραθέτει λεπτομερώς ο συγγραφέας του παραρτήματος του 10ου βιβλίου των *Στοιχείων* του Ευκλείδη.

Μνημονεύσαμε παραπάνω τη συμβολή του Θεόδωρου στη μελέτη της ασυμμετρίας. Πιο συγκεκριμένα, στο διάλογο *Θεαίτητος* ο Πλάτων μας πληροφορεί ότι ο Θεόδωρος είχε αποδείξει ότι οι πλευρές των τετραγώνων με επιφάνεια 3, 5, ..., 17 τετραγωνικούς πόδες δεν είναι «σύμμετρες κατά το μήκος» προς τη μονάδα, προς το μήκος δηλαδή του ενός ποδός. Αν χρησιμοποιήσουμε τη σύγχρονη ορολογία, θα λέγαμε πως απέδειξε ότι οι αριθμοί $\sqrt{3}$, $\sqrt{5}$, ..., $\sqrt{17}$ είναι άρρητοι. Πώς το απέδειξε αυτό; Δε γνωρίζουμε ακριβώς. Φαίνεται πάντως ότι η απόδειξη δεν ήταν ενιαία. Αναπτυσσόταν ξεχωριστά για την κάθε περίπτωση, σταμάτησε όμως στη $\sqrt{17}$, γιατί ενδεχομένως συνάντησε δυσκολίες σε αυτή ή στις επόμενες περιπτώσεις.

2.4 Η σχολή της Χίου

Ύστερα από την παρέκβαση αυτή στην οποία συζητήσαμε το θέμα της ασυμμετρίας, ας επανέλθουμε στην αφήγησή μας. Έχοντας ολοκληρώσει με τη σχολή των Πυθαγορείων, θα προχωρήσουμε τώρα στη λίγο μεταγενέστερη σχολή της Χίου. Ο επιφανέστερος εκπρόσωπος αυτής της σχολής, ο Ιπποκράτης (που δεν πρέπει να συγχέεται με το συνώνυμό του γιατρό από την Κω), άκμασε γύρω στο 435 π.Χ., ενώ ο δάσκαλός του Οινοπίδης ήταν κατά μία γενιά μεγαλύτερος. Αντίθετα με τις δύο προηγούμενες σχολές, οι πληροφορίες που έχουμε για τη σχολή της Χίου δεν περιορίζονται μόνο σε αφηγήσεις μεταγενέστερων σχολιαστών. Από αυτή την περίοδο και στο εξής αρχίζουμε να έχουμε σιγά-σιγά αυθεντικά κείμενα των ίδιων των πρωταγωνιστών της επιστήμης, και έτσι η εξιστόρηση της δραστηριότητάς τους γίνεται όλο και πιο αξιόπιστη. Στην προκειμένη περίπτωση έχουμε στη διάθεσή μας ένα εκτενές απόσπασμα για τον **τετραγωνισμό των μηνίσκων** (βλ. πιο κάτω, ενότητα 2.5) από τον Ιπποκράτη, το οποίο διέσωσε ο σχολιαστής του Αριστοτέλη Σιμπλίκιος (άκμασε γύρω στο 520 μ.Χ.) αντλώντας από το χαμένο έργο του Εύδημου, που έχουμε μνημονεύσει· πιστεύεται όμως ότι ένα μέρος του είναι αυθεντικό κείμενο του ίδιου του Ιπποκράτη.



Ιπποκράτης ο Χίος.

Η σχολή της Χίου σηματοδοτεί μια καμπή στην ιστορία των μαθηματικών. Αυτό οφείλεται κατ' αρχάς στο γεγονός ότι ο Ιπποκράτης ήταν ο συγγραφέας του πρώτου

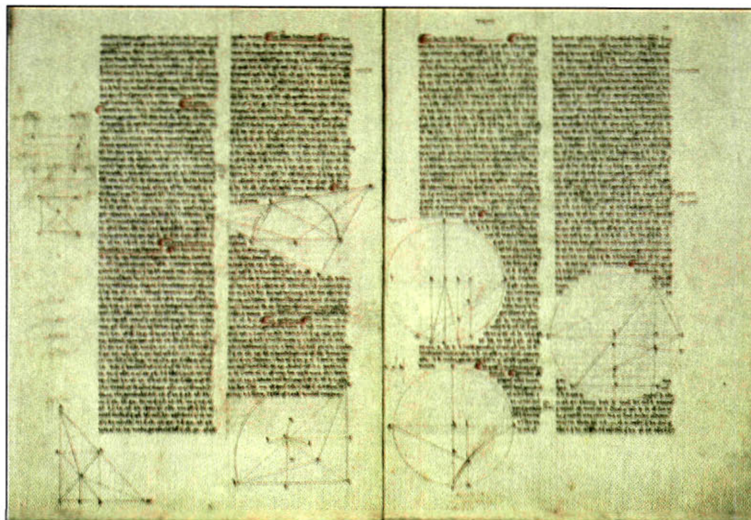
διδακτικού εγχειριδίου γεωμετρίας, το οποίο έφερε τον τίτλο ***Στοιχεία***, αλλά δυστυχώς δε διασώθηκε. Εκτός όμως από αυτό, με τη σχολή της Χίου γίνεται φανερό ότι βρισκόμαστε για πρώτη φορά στην ιστορία εν μέσω μιας ακμάζουσας ***γεωμετρικής παράδοσης***, όπου με τον όρο αυτό εννοούμε ένα **μεταβαλλόμενο σύνολο προβλημάτων** (μεταβαλλόμενο υπό την έννοια ότι ορισμένα απ' αυτά επιλύονταν, ενώ άλλα έδιναν την αφορμή να διατυπώνονται νέα), την επεξεργασία **αποδεκτών μεθόδων χειρισμού** αυτών των προβλημάτων, και, τέλος, τη συναίνεση σε ορισμένα **μέσα δικαιολόγησης** ή **εξήγησης των λύσεων** των προβλημάτων.

Βασικό στοιχείο της ελληνικής γεωμετρικής παράδοσης είναι η επιλογή των **ευθειών** και των **κύκλων** ως θεμέλιων λίθων για την εκτέλεση των γεωμετρικών κατασκευών. Η επιλογή αυτή φαίνεται ότι έγινε στα μέσα του 5ου π.Χ. αι. και συνδέεται με το έργο του Οινοπίδη. Αυτό προκύπτει εμμέσως από το γεγονός ότι ο Πρόκλος αποδίδει στον Οινοπίδη την επίλυση δύο γεωμετρικών προβλημάτων: την κατασκευή της κάθετης σε μια ευθεία από ένα σημείο εκτός αυτής και την κατασκευή, σε ένα σημείο μιας δεδομένης ευθείας, μιας γωνίας ίσης προς δεδομένη γωνία. Αν υποθέσουμε, όπως είναι εύλογο, ότι η πρακτική επίλυση των προβλημάτων αυτών, με τη χρήση κάποιου είδους γνώμονα, ήταν γνωστή πολύ πριν από την εποχή του Οινοπίδη, τότε σ' αυτόν θα πρέπει μάλλον να αποδώσουμε την επίλυσή τους με εκείνο τον τρόπο ο οποίος στη συνέχεια θα καθιερωθεί ως ο «κανονικός» για την κατηγορία των γεωμετρικών προβλημάτων που οι αρχαίοι ονόμαζαν «επίπεδα», και επιτυγχάνεται **με χρήση μόνο του κανόνα και του διαβήτη** ή, καλύτερα, με χρήση ευθειών και κύκλων.

2.5 Τα τρία κλασικά προβλήματα της ελληνικής γεωμετρίας

Όμως η ιδέα της ερευνητικής παράδοσης παίρνει σάρκα και οστά κυρίως με το παράδειγμα των τριών κλασικών προβλημάτων που απασχόλησαν επί πολλούς αιώνες τους Έλληνες (και όχι μόνο) μαθηματικούς. Πρόκειται για τα προβλήματα του **τετραγωνισμού του κύκλου**, του **διπλασιασμού του κύβου** και της **τριχοτόμησης της τυχούσας γωνίας**. Η επίδραση που άσκησαν οι προσπάθειες επίλυσης των τριών αυτών προβλημάτων στην εξέλιξη των μαθηματικών είναι τεράστια, γιατί οδήγησαν σε βαθιές και γόνιμες έρευνες. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι αρχικά οι μαθηματικοί του 5ου π.Χ. αι. θα προσπαθούσαν μάταια να τα επιλύσουν ώσπου να αντιληφθούν ότι αυτό δεν ήταν δυνατόν να γίνει με χρήση μόνο ευθειών και κύκλων (δηλαδή μόνο με τη χρήση αδιαβάθμητου κανόνα και διαβήτη). Το αδύνατο της επίλυσής τους με τα μέσα αυτά αποδείχθηκε μόλις το 19ο αιώνα. Ωστόσο, Αρχαίοι Έλληνες μαθηματικοί θα πρέπει, όπως ήδη αναφέραμε, να το είχαν αντιληφθεί αυτό από πολύ νω-

Χειρόγραφο από τη λατινική μετάφραση των έργων του Αρχιμήδη που εκπόνησε στα τέλη του 13ου αι. ο Γουλιέλμος του Μέρμπεκε (περ. 1215-1297).



ρίς, γι' αυτό και στράφηκαν στην επινόηση κατασκευών που οδηγούσαν σε λύσεις, έστω κι αν οι κατασκευές αυτές δε γίνονταν με κανόνα και με διαβήτη. Από αυτή τη δραστηριότητα προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα μεταξύ των οποίων αξίζει να μνημονεύσουμε τη χρήση των **κωνικών τομών** (δηλαδή της παραβολής, της έλλειψης και της υπερβολής). Βρισκόμαστε, λοιπόν, ενώπιον ενός φαινομένου, το οποίο παρατηρείται πολύ συχνά στην ιστορία της επιστήμης. Εννοούμε το φαινόμενο του εποικοδομητικού ρόλου που μπορεί να παίξει η αποτυχία στην εξέλιξη της επιστήμης. Στην προκειμένη περίπτωση, η αποτυχία των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν - στο πλαίσιο της ερευνητικής παράδοσης - για την επίλυση αυτών των στοιχειωδών εκ πρώτης όψεως προβλημάτων οδήγησε στον περαιτέρω εμπλουτισμό και στην εκλέπτυνση των μαθηματικών μεθόδων, των αναλυτικών εργαλείων καθώς και των αποδεικτικών μεθόδων της ελληνικής γεωμετρίας.

Ο Ιπποκράτης ήταν μεταξύ των πρώτων που ασχολήθηκαν με τα προβλήματα του τετραγωνισμού του κύκλου και του διπλασιασμού του κύβου. Η συμβολή του στο πρώτο συνίσταται στο ότι κατόρθωσε να τετραγωνίσει ορισμένους **μηνίσκους** (μηνίσκοι ονομάζονται τα σχήματα που ορίζονται από τα τόξα δύο κύκλων, των οποίων τα κέντρα κείνται ομοπλεύρως προς το ένα τουλάχιστον από τα τόξα). Επειδή δεν έχουμε λόγο να πιστεύουμε ότι οι μηνίσκοι αποτελούσαν κάποιο σχήμα με ιδιαίτερη σημασία για τους Αρχαίους Έλληνες, μπορούμε να υποθέσουμε ότι το πρόβλημα του τετραγωνισμού τους δεν ήταν παρά ένα μόνο παράδειγμα από μια ολόκληρη κατηγορία προβλημάτων, που αφορούσαν στον τετραγωνισμό διαφόρων καμπυλόγραμμων σχημάτων και, κυρίως, του ίδιου του κύκλου. Η συμβολή του Ιπποκράτη στο πρόβλημα του διπλασιασμού του κύβου έγκειται στο ότι ανήγαγε το πρό-

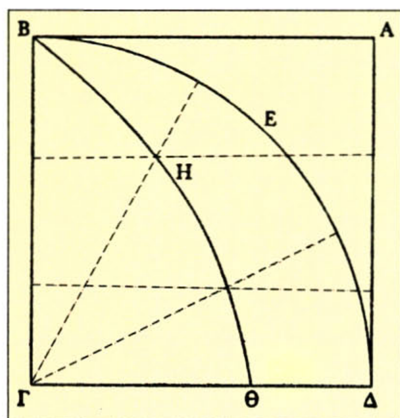
βλημα αυτό στο ισοδύναμο πρόβλημα της εύρεσης δύο μέσων αναλόγων x και y μεταξύ δύο δεδομένων ευθυγράμμων τμημάτων α και β, έτσι ώστε να ισχύουν

$$\alpha : x = x : y = y : \beta.$$

Στην περίπτωση που $\beta = 2\alpha$, από τις σχέσεις αυτές προκύπτει πράγματι ότι $x^3 = 2\alpha^3$.

Τις λύσεις των τριών κλασικών προβλημάτων που επεξεργάσθηκαν οι Αρχαίοι Έλληνες μαθηματικοί διέσωσαν συγγραφείς της ύστερης αρχαιότητας, όπως ο Πάππος στη *Μαθηματική συναγωγή* του και ο Ευτόκιος (πρώιμος 6ος μ.Χ. αι.) στα σχόλιά του στο *Περί σφαίρας και κυλίνδρου* του Αρχιμήδη.

2.5.1 Η τριχοτόμηση τυχούσας γωνίας



Η αρχαιότερη γνωστή μέθοδος για την τριχοτόμηση μιας γωνίας είναι αυτή που γίνεται με μία καμπύλη την οποία θα ονομάζουμε ***τριχοτομούσα***. Η κατασκευή της καμπύλης αυτής περιγράφεται από τον Πάππο ως εξής: Ξεκινώντας από το τετράγωνο ΑΒΓΔ, ας φανταστούμε την ευθεία ΒΑ να μετατοπίζεται παράλληλα με σταθερή ταχύτητα προς τα κάτω μέχρι να συμπέσει με τη ΓΔ και, ταυτόχρονα, την ευθεία ΓΒ να περιστρέφεται ομαλά, μέσα στο τετράγωνο, γύρω από το σταθερό άκρο Γ μέχρι να συμπέσει και αυτή, στον ίδιο χρόνο, με τη ΓΔ. Η τριχοτομούσα είναι η καμπύλη που διαγράφει το σημείο τομής των δύο κινούμενων ευθειών (βλ. σχήμα).

Η κατασκευή της τριχοτομούσας και η χρησιμοποίησή της για την επίλυση του προβλήματος της τριχοτόμησης μιας τυχούσας γωνίας αποδίδεται από ορισμένους ιστορικούς των μαθηματικών στο σοφιστή Ιππία τον Ηλείο (τέλος 5ου π.Χ. αι.), τον οποίο ο Πλάτων στον *Πρωταγόρα* τον παρουσιάζει ως υπέρμαχο της υποχρεωτικής εκπαίδευσης στους τέσσερις κλάδους της ***τετρακτύος*** (αριθμητική, γεωμετρία, μουσική, αστρονομία). Ο Πάππος χρησιμοποιεί για την καμπύλη αυτή την ονομασία ***τετραγωνίζουσα***, λόγω του ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για την επίλυση του προβλήματος του τετραγωνισμού του κύκλου, αποδίδει δε αυτή την τελευταία εφαρμογή της στους μαθηματικούς Δεινόστρατο (μέσα 4ου π.Χ. αι.) και Νικομήδη (ύστερος 3ος π.Χ. αι.). Φαίνεται, λοιπόν, ότι η καμπύλη επινοήθηκε αρχικά για την επίλυση του προβλήματος της τριχοτόμησης μιας τυχούσας γωνίας και αργότερα δια-

πιστώθηκε ότι η ίδια καμπύλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την επίλυση του προβλήματος του τετραγωνισμού του κύκλου.

2.5.2 Ο διπλασιασμός του κύβου

Ενώ για την προέλευση του προβλήματος της τριχοτόμησης της γωνίας δεν υπάρχει καμιά πληροφορία, αντίθετα για τον διπλασιασμό του κύβου υπάρχει ένα πλήθος από λεπτομερείς αφηγήσεις. Δύο από τις αφηγήσεις αυτές, με συγγραφείς τους σχολιαστές Θέωνα το Σμυρναίο και Ευτόκιο, φέρονται να έχουν ως πηγή κείμενα του Ερατοσθένη, διευθυντή της Βιβλιοθήκης της Αλεξάνδρειας τον 3ο π.Χ. αιώνα. Συγκεκριμένα, η αφήγηση του Θέωνα φαίνεται ότι βασίζεται σε ένα χαμένο διάλογο με τον τίτλο *Πλατωνικός*, ενώ ο Ευτόκιος φέρεται να παραθέτει αυτούσια μια επιστολή του Ερατοσθένη προς το βασιλιά Πτολεμαίο. Από τη συνεργασία των ιστορικών των μαθηματικών με επιστήμονες άλλων ειδικοτήτων (φιλολόγους, ιστορικούς, αρχαιολόγους κτλ.) αποδείχθηκε ότι η επιστολή δεν είναι γνήσια (ενδέχεται να μην την έγραψε καν ο Ερατοσθένης), όμως δεν υπάρχει λόγος να αμφιβάλλουμε σχετικά

Η «επιστολή» περιέχει ένα εξαιρετικά σημαντικό τεκμήριο, ένα επίγραμμα του Ερατοσθένη, εν μέρει σε λόγο πεζό, εν μέρει διατυπωμένο έντεχνα σε στίχους. Το επίγραμμα ήταν χαραγμένο σε μια μαρμάρινη πλάκα στο ναό του Πτολεμαίου στην Αλεξάνδρεια και θεωρείται γνήσιο. Το έμμετρο τμήμα του είναι το εξής:

Εάν, ω αγαθέ, θέλεις να επιτύχεις κύβο διπλάσιο ενός μικρού ή θέλεις να μετασχηματίσεις με κομψό τρόπο κάθε άλλο στερεό σώμα, αυτό είναι στο χέρι σου και θα μπορέσεις να μετρήσεις και μάντρα ή λάκκο ή ευρύ κύτος κοίλου πηγαδιού, αν βρεις δύο μέσες αναλόγους, αφού συμπεριλάβεις μεταξύ δύο κανόνων συνδρομείς, οι τομές των οποίων να συγκλίνουν προς τα άκρα των τερμάτων τους. Να μην ζητάς να το πετύχεις αυτό με τα δυσμήχανα έργα των κυλίνδρων του Αρχύτα, ούτε να θέλεις να το βρεις τέμνοντας τον κώνο κατά τις τριάδες του Μεναίχμου, ούτε αν κατασκευάζεται κάποιο είδος καμπύλων γραμμών, όπως περιγράφεται από τον θεοσεβή Εύδοξο. Διότι με αυτή τη συσκευή μπορείς, ξεκινώντας από μια μικρή βάση, να βρεις μυριάδες μέσων αναλόγων ευκολότερα. Είσαι ευτυχής, Πτολεμαίε, διότι, απολαμβάνοντας με το παιδί σου τις νεανικές διασκεδάσεις, συ ο ίδιος χάρισες σ' αυτό όλα όσα είναι αγαπητά και στις μούσες και στους βασιλείς. Σε ό,τι αφορά δε στο μέλλον, ουράνιε Ζευ, μακάρι το παιδί σου να δεχθεί από το χέρι σου και τα σκήπτρα. Και αυτά μεν ας γίνουν έτσι, είθε δε όποιος βλέπει το ανάθημα αυτό να λέει ότι αυτό είναι έργο του Ερατοσθένη του Κυρηναίου.

Βλέπε: *Selections Illustrating the History of Greek Mathematics*, τόμ. 1: *From Thales to Euclid*, επιμ. Ivor Thomas, Cambridge, Mass., Harvard University Prees 1991, σελ. 296. (Loeb Classical Library, Αρ. 335)

με την αξιοπιστία των πληροφοριών που περιέχει.

Το πιο σημαντικό περιστατικό στην ιστορία του προβλήματος του διπλασιασμού του κύβου ήταν η αναγωγή του, από τον Ιπποκράτη, στο πρόβλημα της εύρεσης *δύο μέσων αναλόγων*. Πράγματι, όπως ήδη έχουμε αναφέρει, αν κατασκευαστούν δύο μέσες ανάλογοι x και y μεταξύ των ευθυγράμμων τμημάτων α και 2α, τότε ο κύβος με πλευρά x θα είναι διπλάσιος του κύβου με πλευρά α. Από τότε που αποδείχθηκε το αποτέλεσμα αυτό, οι Αρχαίοι Έλληνες μαθηματικοί επιδόθηκαν στην προσπάθεια επίλυσης του ισοδύναμου προβλήματος της εύρεσης δύο μέσων αναλόγων, προκειμένου έτσι να επιτύχουν και την επίλυση του αρχικού προβλήματος, του διπλασιασμού του κύβου.

Διατυπώθηκαν πολλές λύσεις του προβλήματος, άλλες θεωρητικές και άλλες μηχανικές. Στα αποσπάσματα από την «επιστολή» του Ερατοσθένη μνημονεύονται τέσσερις απ' αυτές (του Αρχύτα, του Ευδόξου, του Μέναιχμου και του ίδιου του Ερατοσθένη), ενώ ο συνολικός αριθμός των λύσεων που διασώζει ο σχολιαστής Ευτόκιος ξεπερνά τις δέκα. Η λύση του Μέναιχμου (μαθητή και συνεργάτη του Πλάτωνα) παρουσιάζει μεγάλο ιστορικό ενδιαφέρον, γιατί εγκαινιάζει μια ολόκληρη ερευνητική παράδοση στην ιστορία της γεωμετρίας, που κατέληξε στη διατύπωση της θεωρίας των κωνικών τομών.

2.5.3 Ο τετραγωνισμός του κύκλου

Το πρόβλημα του τετραγωνισμού του κύκλου ήταν πολύ δημοφιλές στην Αθήνα προς το τέλος του 5ου π.Χ. αι., αν κρίνουμε από το γεγονός ότι ακόμη και ο Αριστοφάνης διακωμωδεί στους *Όρνιθες* τις προσπάθειες επίλυσής του. Στην κοινή γλώσσα, μάλιστα, είχε γίνει συνώνυμο του «ακατόρθωτου».

Το πρόβλημα του τετραγωνισμού του κύκλου έγκειται στην εύρεση της πλευράς ενός τετραγώνου η επιφάνεια του οποίου είναι ίση με την επιφάνεια του κύκλου. Μια ενδιαφέρουσα εξέλιξη στις προσπάθειες επίλυσης αυτού του προβλήματος ήταν η αναγωγή του στο ισοδύναμο πρόβλημα της εύρεσης του μήκους της περιφέρειας. Η απόδειξη της ισοδυναμίας των δύο προβλημάτων δίνεται από τον Αρχιμήδη στη μικρή πραγματεία του με τον τίτλο *Κύκλου μέτρησις*, θεωρείται όμως βέβαιο ότι ήταν γνωστή ήδη από τα μέσα του 4ου π.Χ. αι., όταν ο Δεινόστρατος (αδελφός του Μέναιχμου) έλυσε το πρόβλημα της εύρεσης του μήκους της περιφέρειας, χρησιμοποιώντας την τετραγωνίζουσα, την καμπύλη που περιγράψαμε όταν συζητούσαμε το πρόβλημα της τριχοτόμησης της γωνίας.

3 Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΣΤΡΟΝΟΜΙΑ ΤΟΝ 4ο π.Χ. ΑΙΩΝΑ

Αν εξαιρέσουμε τα μαθηματικά, εκείνη από τις θετικές, όπως λέμε σήμερα, επιστήμες, η οποία γνώρισε τη μεγαλύτερη άνθηση κατά την ελληνική αρχαιότητα ήταν η αστρονομία· ήταν άλλωστε η μόνη επιστήμη στην οποία ήδη από τα μέσα του 4ου π.Χ. αι. εφαρμόστηκαν, και μάλιστα με αρκετή επιτυχία, μαθηματικές μέθοδοι. Φυσικά, η ιστορία της ελληνικής αστρονομίας δεν αρχίζει τον 4ο π.Χ. αιώνα. Χαρτογράφηση αστέρων και αστερισμών, παρατηρήσεις των κινήσεων των ουράνιων σωμάτων, καθώς και καταγραφή των πάσης φύσεως ουράνιων φαινομένων γίνονταν από πολύ παλιά, τόσο για τη ρύθμιση των ετήσιων αγροτικών εργασιών όσο και για τη σύνταξη ενός ικανοποιητικού ημερολογίου, αλλά ακόμη και για θρησκευτικούς λόγους. Επιπλέον, διατυπώθηκαν και περιγραφές του κόσμου, με πιο ενδιαφέρουσα αυτή που αποδίδεται στο Φιλόλαο, έναν Πυθαγόρειο που έζησε στο δεύτερο μισό του 5ου π.Χ. αιώνα. Την κεντρική θέση στο σύστημα του κόσμου, σύμφωνα με την περιγραφή του Φιλολάου, δεν κατέχει η γη αλλά το *κεντρικόν πυρ* (*εστία*), γύρω από το οποίο περιφέρονται διαγράφοντας κυκλικές τροχιές η γη και τα υπόλοιπα ουράνια σώματα - στα οποία εκτός από τη σελήνη, τον ήλιο, τους πέντε πλανήτες (Ερμή, Αφροδίτη, Άρη, Δία, Κρόνο) και τους απλανείς περιλαμβανόταν και μια αντι-γη (*αντίχθων*). Παρά τα προφανή μειονεκτήματά της η περιγραφή αυτή του κόσμου, συγκρινόμενη με παλαιότερες θεωρίες, αποτελεί αξιοσημείωτη εξέλιξη, γιατί δίνει έμφαση στις κυκλικές κινήσεις των ουράνιων σωμάτων γύρω από ένα κέντρο, απομακρύνει τη γη από το κέντρο του κόσμου και διακρίνει τους πλανήτες από τους απλανείς αστέρες.

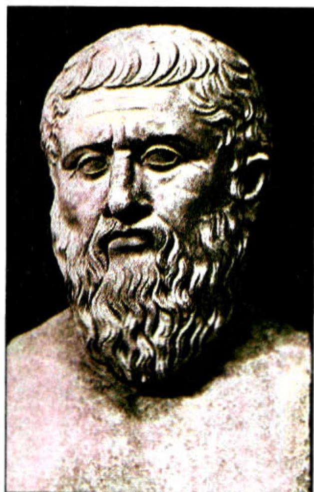
Κύριο χαρακτηριστικό των περιγραφών του κόσμου που είχαν διατυπωθεί ως τις αρχές του 4ου π.Χ. αι. ήταν η απουσία κάθε προσπάθειας να περιγραφούν με ακρίβεια οι παρατηρούμενες κινήσεις (φαινόμενες κινήσεις) των ουράνιων σωμάτων και ιδίως των πλανητών. Αυτό ακριβώς είναι το κρίσιμο σημείο ως προς το οποίο διαφοροποιούνται οι θεωρίες που διατυπώνονται από τον 4ο π.Χ. αι. και μετά. Τώρα αρχίζει σιγά σιγά να διαμορφώνεται ένα είδος μαθηματικής αστρονομίας, με βασικά χαρακτηριστικά:

• Τη μετατόπιση του ενδιαφέροντος από θέματα που αναφέρονται στους αστέρες γενικά (πλανήτες και απλανείς), σε θέματα που αφορούν ιδιαίτερα την κίνηση των πλανητών.

• Τη δημιουργία ενός γεωμετρικού μοντέλου, του μοντέλου των «ομόκεντρων σφαιρών» (βλ. παρακάτω), για την αναπαράσταση τόσο των αστρικών όσο και των πλανητικών κινήσεων.

• Τη διαμόρφωση κριτηρίων που πρέπει να ικανοποιούν οι θεωρίες που φιλοδοξούν να ερμηνεύσουν τις παρατηρούμενες κινήσεις των ουράνιων σωμάτων.

Οι πιο σημαντικές μορφές που συνέβαλαν στη στροφή αυτή της αστρονομίας τον 4ο π.Χ. αι. ήταν ο Πλάτων (429-347 π.Χ.) και, κυρίως, ο σύγχρονος, αν και νεότερός του, Εύδοξος ο Κνίδιος (περ. 390-337 π.Χ.).



Πλάτων.

3.1 Ο ρόλος του Πλάτωνα

Η συμβολή του Πλάτωνα στην ιστορία της αστρονομίας δεν έγκειται τόσο στις ποικίλες τεχνικές γνώσεις που εκθέτει στους διαλόγους του όσο στις ιδέες που διατυπώνει για τον τύπο των εξηγήσεων που πρέπει να δίνουν οι αστρονόμοι. Δύο είναι τα κύρια στοιχεία που συνθέτουν την παρακαταθήκη του προς τους αστρονόμους της εποχής του: πρώτον, η ριζική διαφορά ανάμεσα στη **μαθηματική** (θεωρητική) και στην **παρατηρησιακή** αστρονομία, και η τοποθέτησή του υπέρ της μαθηματικής αστρονομίας· και δεύτερον, ο προσανατολισμός στο πρόβλημα της εξήγησης της κίνησης των πλανητών ως του πλέον σημαντικού προβλήματος με το οποίο έπρεπε να ασχοληθούν οι αστρονόμοι. Σύμφωνα, μάλιστα, με μια μεταγενέστερη πηγή ο Πλάτων διατύπωσε τους όρους τους οποίους θα έπρεπε να ικανοποιεί μια λύση του προβλήματος αυτού για να είναι αποδεκτή: ***οι φαινόμενες κινήσεις των πλανητών θα έπρεπε να εξηγηθούν μόνο με ομαλές κυκλικές κινήσεις***. Το δεύτερο αυτό σκέλος της παρακαταθήκης του Πλάτωνα επηρέασε την αστρονομία για είκοσι σχεδόν αιώνες, αφού το πρόβλημα της εξήγησης της φαινόμενης κίνησης των πλανητών παρέμεινε το πρόβλημα που κυρίως απασχολούσε τους αστρονόμους ως την εποχή του Νεύτωνα. Αλλά και το δόγμα της χρησιμοποίησης αποκλειστικά και μόνο κυκλικών κινήσεων δεν εγκαταλείφθηκε παρά με τον Κέπλερ, μόλις λίγες δεκαετίες νωρίτερα.

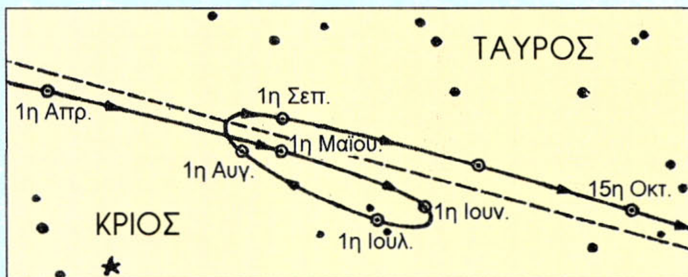
Την εποχή του Πλάτωνα υπήρχε συμφωνία μεταξύ των αστρονόμων ότι οι βασικές κινήσεις στις οποίες συμμετέχουν τα ουράνια σώματα, πλανήτες και απλανείς, και είναι ορατές (με γυμνό μάτι) από έναν επίγειο παρατηρητή, είναι οι εξής:

1. Όλα τα ουράνια σώματα περιστρέφονται γύρω από τη γη, εξ ανατολών προς δυσμάς, σε 24 ώρες περίπου, με αποτέλεσμα να παρατηρείται το καθημερινό φαινόμενο της ανατολής και της δύσης τους.

2. Ο ήλιος μετατοπίζεται σε σχέση με τους αστερισμούς με σχεδόν ομαλή γωνιακή ταχύτητα (όπως θα λέγαμε σήμερα), εκ δυσμών προς ανατολάς, εντός ενός δακτυλίου από

αστερισμούς (των ζωδίων), κινούμενος πάνω σε μια νοητή μαθηματική γραμμή (την εκλειπτική) και συμπληρώνει μια πλήρη περιφορά (δηλαδή επανέρχεται στον ίδιο αστερισμό) σε ένα χρόνο περίπου. Η σελήνη και οι υπόλοιποι πέντε πλανήτες κινούνται και αυτοί στο μέσο των ζωδίων, σε τροχιές που βρίσκονται πολύ κοντά στην τροχιά του ήλιου, και με κατεύθυνση γενικώς εκ δυσμών προς ανατολάς, η περίοδος δε εντός της οποίας συμπληρώνεται μία πλήρης περιφορά ποικίλει από πλανήτη σε πλανήτη.

3. Τέλος, όταν παρατηρεί κανείς τη θέση ενός πλανήτη επί πολλούς μήνες, θα διαπιστώσει την ύπαρξη ανωμαλιών στην εκ δυσμών προς ανατολάς κίνησή του. Οι ανωμαλίες αυτές είναι γνωστές ως *στάσεις, αναδρομήσεις και ορθοδρομήσεις*. Συγκεκριμένα, από καιρού εις καιρόν ο πλανήτης φαίνεται να επιβραδύνει την κίνησή του και κατόπιν να ακινητοποιείται για μερικές μέρες, στη συνέχεια να κινείται ανάδρομα, δηλαδή εξ ανατολών προς δυσμάς, να επιβραδύνει και πάλι την κίνησή του, να σταματά, και στη συνέχεια να ξαναπαίρνει την κανονική πορεία του εκ δυσμών προς ανατολάς.

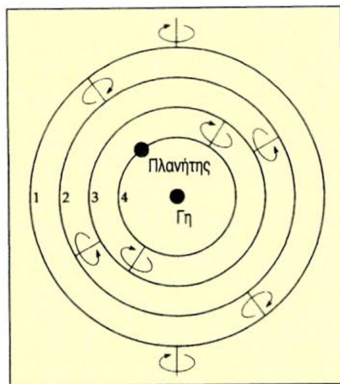


Γραφική αναπαράσταση της φαινομένης τροχιάς του πλανήτη Άρη εν μέσω των αστερισμών του Κριού και του Ταύρου. Η διακεκομμένη γραμμή παριστάνει την εκλειπτική.

3.2 Το μοντέλο των ομόκεντρων σφαιρών του Ευδόξου

Όπως αναφέραμε ο Πλάτων έθεσε στους αστρονόμους το πρόβλημα σχετικά με τις ομαλές κυκλικές κινήσεις, που θα **«έσωζαν»** τις φαινόμενες κινήσεις των ουράνιων σωμάτων για τις οποίες μιλήσαμε πιο πάνω. Το πρόβλημα ήταν, κυρίως, να επινοηθούν τεχνικές, που θα έδιναν τη δυνατότητα γεωμετρικής περιγραφής της φαινομένης τροχιάς των ουράνιων σωμάτων και ιδιαίτερα της ανώμαλης κίνησης των πλανητών. Η ευφυέστερη από τις λύσεις που προτάθηκαν δόθηκε από τον Εύδοξο και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματα στην ιστορία της αρχαίας ελληνικής επιστήμης.

Η λύση του Ευδόξου περιεχόταν σε ένα από τα χαμένα έργα του με τίτλο *Περί ταχών*, ευτυχώς όμως την περιγράφει με συντομία ο Αριστοτέλης στα *Μετά τα φυσικά* και λεπτομερέστερα ο Σιμπλίκιος στα σχόλια στο *Περί ουρανού* του Αριστοτέλη. Με βάση αυτές τις περιγραφές ο Ιταλός αστρονόμος G.V. Schiaparelli (Σκιαπαρέλι, 1835-



1910) ανακατασκεύασε τον περασμένο αιώνα τη λύση του Ευδόξου και η ανακατασκευή αυτή, η οποία έχει γίνει γενικώς αποδεκτή, είναι σε αδρές γραμμές η ακόλουθη: Η σφαιρική γη βρίσκεται ακίνητη στο κέντρο ενός συστήματος ομόκεντρων σφαιρών, οι οποίες περιστρέφονται ομαλά γύρω από καταλλήλως κεκλιμένους άξονες περιστροφής. Από αυτές, η εξωτερική φέρει τους απλανείς αστέρες, ενώ οι υπόλοιπες χρησιμεύουν για την περιγραφή των πλανητών. Στο διπλανό σχήμα που ακολουθεί φαίνεται πώς είναι αρθρωμένες οι ομόκεντρες σφαίρες ενός τυχόντος πλανήτη.

Ο πλανήτης ο οποίος είναι σταθερά τοποθετημένος στην εσωτερική σφαίρα συμμετέχει στην κίνηση της σφαίρας αυτής. Η σφαίρα αυτή συμμετέχει στην κίνηση της σφαίρας που βρίσκεται από πάνω της κτλ. Έτσι, ο πλανήτης εκτελεί μια σύνθετη κίνηση, από την οποία προκύπτει η φαινόμενη κίνησή του.

Ένα από τα ερωτήματα που θέτουν οι ιστορικοί της επιστήμης είναι αν το μοντέλο του Ευδόξου μπορεί να θεωρηθεί επιτυχημένο. Η απάντηση δεν είναι εύκολη μιας και δεν έχει διασωθεί κανένα έργο του Ευδόξου και, έτσι, δε γνωρίζουμε τις γεωμετρικές λεπτομέρειες του μοντέλου του. Πιστεύεται, πάντως, ότι το μοντέλο δεν είχε σχεδιαστεί με σκοπό την επίτευξη ποσοτικών προγνώσεων (είναι μάλλον απίθανο να είχε εισαχθεί η ιδέα της ακριβούς ποσοτικής πρόγνωσης στην ελληνική αστρονομία εκείνη την εποχή) και οι φιλοδοξίες του δεν ήταν άλλες από την **ποιοτική συμφωνία**, σε γενικές γραμμές, **μεταξύ θεωρίας και παρατηρησιακών δεδομένων**. Και με αυτή την έννοια το μοντέλο του Ευδόξου ήταν εξαιρετικά επιτυχημένο.

3.3 Η πλανητική αστρονομία μετά τον Εύδοξο

Το μοντέλο των ομόκεντρων σφαιρών του Ευδόξου είχε πολύ μεγάλη αποδοχή από τους αστρονόμους της εποχής. Μάλιστα, το επεξεργάστηκε ακόμα περισσότερο ο Αριστοτέλης (384-322 π.Χ.). Συγκεκριμένα, ο Αριστοτέλης **απέδωσε φυσική ύπαρξη στο σύστημα των σφαιρών**, μετατρέποντάς το έτσι **από καθαρά γεωμετρική κατασκευή σε μηχανική**.

Το μοντέλο των ομόκεντρων σφαιρών δεν ήταν ικανό να «σώζει» όλα τα φαινόμενα και, ιδιαίτερα, το φαινόμενο της μεταβολής της λαμπρότητας ορισμένων πλανητών. Η «ανωμαλία» αυτή εξηγήθηκε μόνο με τη θεωρία των επικύκλων και των έκ-

κεντρων κύκλων, η οποία όμως διατυπώθηκε αργότερα, τον 3ο π.Χ. αι., στην ελληνιστική περίοδο. Ολοκληρώνοντας στο σημείο αυτό την αφήγησή μας για την πρώιμη ιστορία της ελληνικής αστρονομίας αξίζει να μνημονεύσουμε έναν ακόμη αστρονόμο του 4ου π.Χ. αι., το συνεργάτη του Πλάτωνα και μέλος της Ακαδημίας, τον Ηρακλείδη από τον Πόντο (περ. 390-339 π.Χ.), στον οποίο αποδίδεται η εξαιρετικά ενδιαφέρουσα ιδέα της ημερήσιας περιστροφής της γης γύρω από τον άξονά της. Το ενδιαφέρον αυτής της ιδέας έγκειται στο ότι έτσι μειώνεται ο αριθμός των ουράνιων κινήσεων που πρέπει να εξηγηθούν. Πράγματι, η ημερήσια περιστροφή της γης ερμηνεύει την ημερήσια κίνηση της ουράνιας σφαίρας, την οποία, στο μοντέλο των ομόκεντρων σφαιρών, περιέγραφε η εξωτερική σφαίρα του συστήματος των σφαιρών κάθε πλανήτη. Παρά το ενδιαφέρον της, όμως, η ιδέα του Ηρακλείδη δεν έτυχε ευρύτερης αποδοχής στην αρχαιότητα. Ο λόγος θα πρέπει να αναζητηθεί μάλλον σε αντεπιχειρήματα που διατυπώθηκαν και βασίστηκαν στις θέσεις της επικρατούσας αριστοτελικής φυσικής.

4 Η ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΟΥ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗ

Στην ιστορία των επιστημών ο Αριστοτέλης αποτέλεσε, για περισσότερο από δύο χιλιάδες χρόνια, μια αυθεντία που παρόμοια δε γνώρισε η δυτική σκέψη. Ιδιαίτερα η διδασκαλία του για την κίνηση και η κοσμολογία του δεν ξεπεράστηκαν οριστικά παρά μόνο το 17ο αιώνα. Στην κοσμολογία του Αριστοτέλη ο κόσμος χωρίζεται σε δύο περιοχές: την υποσελήνια περιοχή και το χώρο πέρα από τη σελήνη. Οι δύο αυτές περιοχές είναι πολύ διαφορετικές μεταξύ τους. Ο χώρος πέρα από τη σελήνη είναι αμετάβλητος και άφθαρτος. Οι κινήσεις των σωμάτων στο χώρο αυτό είναι τέλειες, δηλαδή ομαλές κυκλικές. Αντίθετα, στην υποσελήνια περιοχή κυριαρχούν η φθορά και η αλλαγή, ενώ οι φυσικές κινήσεις των σωμάτων δεν είναι ομαλές κυκλικές. Για τις κινήσεις αυτές ο Αριστοτέλης είχε αναπτύξει μια θεωρία που άσκησε μεγάλη επιρροή και, συνάμα, δέχθηκε πολλές κριτικές.

Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ «ΚΙΝΗΣΗΣ» ΣΤΟΝ ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΗ

Ο Αριστοτέλης χρησιμοποιεί τον όρο «κίνησις» με πολύ ευρύτερη σημασία από αυτή που του αποδίδουμε σήμερα. Για τον Αριστοτέλη ο όρος αυτός μπορεί να σημαίνει:

1. Αλλαγή της ουσίας (*γένεσις* και *φθορά*).
2. Αλλαγή του μεγέθους (*αύξησις* και *φθίσις*).
3. Αλλαγή της ποιότητας (*αλλοίωσις*).
4. Μετατόπιση.

Το θέμα μας σ' αυτή την ενότητα είναι η κίνηση με την τέταρτη σημασία του όρου, δηλαδή η μετατόπιση.

4.1 Η θεωρία της κίνησης στην υποσελήνια περιοχή



Αριστοτέλης. Μαρμάρινο αντίγραφο (30-50 μ.Χ.) ενός παλαιότερου, πιθανώς ορειχάλκινου, αγάλματος που είχε φιλοτεχνηθεί κατά τη διάρκεια της ζωής του φιλοσόφου (γύρω στο 325 π.Χ.).

Η αριστοτελική θεωρία της κίνησης στην υποσελήνια περιοχή βασίζεται σε δύο θεμελιώδεις αρχές:

1η αρχή: Η κίνηση δεν είναι ποτέ αυθόρμητη. Πίσω από κάθε κίνηση ο Αριστοτέλης βλέπει τη επενέργεια μιας ενεργούσας δύναμης (*κινούν*), η οποία βρίσκεται σε συνεχή επαφή με το κινούμενο σώμα.

2η αρχή: Υπάρχουν δύο είδη κίνησης: *η φυσική και η βίαιη κίνηση*. Η *φυσική κίνηση*, δηλαδή η ελεύθερη κίνηση των σωμάτων προς τους *φυσικούς τόπους τους* είναι ευθύγραμμη και η διεύθυνσή της είναι πάντοτε κατακόρυφη. *Η βίαιη (εξαναγκασμένη) κίνηση*, δηλαδή η κίνηση που γίνεται υπό την επίδραση μιας εξωτερικής δύναμης και υποχρεώνει το σώμα να παρεκκλίνει από τη φυσική κίνησή του, μπορεί να είναι και αυτή ευθύγραμμη, η διεύθυνσή της όμως δεν είναι απαραίτητο να είναι πάντοτε κατακόρυφη. Κάθε κίνηση στη γήινη περιοχή του κόσμου είναι ή βίαιη ή φυσική, αλλά η βίαιη αντιτίθεται προς τη φύση και έπεται της φυσικής.

Σε ό,τι αφορά την πρώτη αρχή, ο Αριστοτέλης είχε να αντιμετωπίσει μια προφανή δυσκολία. Έπρεπε να εξηγήσει γιατί σε ορισμένες περιπτώσεις η κίνηση συνεχίζεται ακόμη και όταν το κινούμενο σώμα χάσει την επαφή του με το κινούν. Ένα κλασικό παράδειγμα είναι, λ.χ., αυτό του εξακοντιζόμενου βέλους το οποίο εκτοξεύεται οριζόντια, οπότε εκτελεί εξαναγκασμένη κίνηση, και δε σταματά να κινείται αμέσως μόλις χάσει την επαφή του με τη χορδή του τόξου που το εκτόξευσε. Η απάντηση για τον Αριστοτέλη βρίσκεται στη θεωρία της ***«αντιπερίστασης»***, σύμφωνα με την οποία το μέσον εντός του οποίου διενεργείται η κίνηση αναλαμβάνει το ρόλο του κινούντος: όταν εκτοξεύουμε ένα βέλος διεγείρουμε ταυτόχρονα το περιβάλλον μέσο, μεταδίδοντάς του τη δύναμη να συνεχίσει να δρα επί του βέλους κινώντας το (με τη διαφορά ότι όσο περισσότερο απομακρύνεται η δύναμη από την αρχική πηγή της τόσο περισσότερο εξαντλείται). Πρόκειται για μια απάντηση απολύτως συνεπή με την αρχή ότι δεν υπάρχει κίνηση χωρίς τη συνεχή επενέργεια του κινούντος.

Ας δούμε τώρα, πώς με βάση τις δύο αυτές αρχές πραγματεύεται ο Αριστοτέλης τόσο τη φυσική όσο και την εξαναγκασμένη κίνηση.

4.1.1 Η φυσική κίνηση

Ποιο είναι το κινούν στην περίπτωση της φυσικής κίνησης; Το κινούν, στην περίπτωση της φυσικής κίνησης, είναι η *φύση* του σώματος εξ αιτίας της οποίας το κάθε σώμα έχει - κατά τον Αριστοτέλη - την τάση να κινείται προς το **φυσικό τόπο** του, ώσπου, όταν φτάσει σ' αυτόν, να παραμείνει για πάντα σε ηρεμία.

Πώς πραγματεύεται, όμως, ο Αριστοτέλης το πρόβλημα των φυσικών τόπων; Οι απόψεις του συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία: η γήινη (υποσελήνια) περιοχή του κόσμου καλύπτεται πλήρως από τα τέσσερα γήινα στοιχεία: τη γη, το νερό, τον αέρα και τη φωτιά. Το καθένα από τα στοιχεία αυτά είναι *βαρύ* ή *ελαφρύ*. Συγκεκριμένα, η γη και το νερό έχουν την ιδιότητα του βαρέως (με τη γη να είναι βαρύτερη σε σύγκριση με το νερό), ενώ ο αέρας και η φωτιά έχουν την ιδιότητα του ελαφρού (με τη φωτιά να είναι ελαφρύτερη σε σύγκριση με τον αέρα). Επειδή η γη και το νερό είναι βαριά, η φύση τους είναι να κατέρχονται προς το κέντρο του κόσμου και, αντιστοίχως, επειδή ο αέρας και η φωτιά είναι ελαφρά, η φύση τους είναι να ανέρχονται προς την περιφέρεια της γήινης περιοχής του κόσμου, δηλαδή προς το εσωτερικό κέλυφος της σφαίρας στην οποία βρίσκεται η σελήνη. Σε μια ιδανική περίπτωση (δηλαδή, αν δεν υπήρχαν εμπόδια, αν δεν υπήρχαν ανάμικτα σώματα παρά μόνο τα τέσσερα στοιχεία σε πλήρη καθαρότητα και, ακόμη, αν τα τέσσερα στοιχεία είχαν ολοκληρώσει τις φυσικές κινήσεις τους) στη γήινη περιοχή του κόσμου θα διαμορφώνονταν τέσσερις ομόκεντρες σφαίρες, στην καθεμία από τις οποίες θα είχε καταλήξει και θα βρισκόταν σε κατάσταση ηρεμίας το καθένα από τα τέσσερα στοιχεία. Οι σφαίρες αυτές θα ήταν κατά σειρά (από μέσα προς τα έξω) οι εξής: η σφαίρα της γης, η σφαίρα του νερού, η σφαίρα του αέρα και η σφαίρα της φωτιάς. Αυτές οι τέσσερις σφαίρες, λοιπόν, είναι οι *φυσικοί τόποι* προς τους οποίους, από τη φύση τους, κινούνται όλα τα σώματα.

Δύο είναι, για τον Αριστοτέλη, οι **κανόνες** που ρυθμίζουν τη συμπεριφορά ενός σώματος στην περίπτωση της φυσικής κίνησης:

1. Όταν δύο σώματα διαφορετικού βάρους πέφτουν ελεύθερα, τα χρονικά διαστήματα που απαιτούνται για να καλυφθεί μια δεδομένη απόσταση είναι αντιστρόφως ανάλογα των βαρών τους (ένα σώμα με το διπλάσιο βάρος σε σχέση με ένα άλλο χρειάζεται για την κάλυψη ίσης απόστασης το μισό χρόνο σε σύγκριση με εκείνο).

2. Αν σώματα του ίδιου βάρους κινούνται με φυσική κίνηση σε μέσα με διαφορετικές πυκνότητες, τα χρονικά διαστήματα που απαιτούνται για να διανυθεί μια δεδομένη απόσταση είναι ανάλογα προς τις πυκνότητες των αντίστοιχων μέσων (όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα τόσο πιο αργά κινείται το σώμα).

4.1.2 Η εξαναγκασμένη κίνηση

Στην περίπτωση της εξαναγκασμένης κίνησης το κινούν είναι μια εξωτερική δύναμη η οποία υποχρεώνει το σώμα να κινηθεί *παρά φύσιν*, δηλαδή σε κάποια διεύθυνση που το απομακρύνει από το φυσικό τόπο του. Η εξαναγκασμένη κίνηση παύει, όταν παύσει η ενέργεια της εξωτερικής δύναμης.

Οι *κανόνες* που διέπουν τη συμπεριφορά ενός σώματος που εκτελεί εξαναγκασμένη κίνηση είναι, για τον Αριστοτέλη, οι εξής:

Αν μια δεδομένη δύναμη F κινεί ενάντια στη φύση του ένα σώμα βάρους B κατά μια απόσταση $Γ$ εντός χρόνου $Δ$, τότε:

1. Η ίδια δύναμη F θα μετακινήσει ένα σώμα βάρους $\frac{B}{2}$ στον ίδιο χρόνο $Δ$ σε απόσταση $2Γ$.
2. Η μισή δύναμη $\frac{F}{2}$ θα μετακινήσει το σώμα βάρους Β στο χρόνο $Δ$ κατά απόσταση $\frac{Γ}{2}$.
3. Η μισή δύναμη $\frac{F}{2}$ θα μετακινήσει ένα σώμα βάρους $\frac{B}{2}$ στο χρόνο $Δ$ κατά απόσταση $Γ$.

Ο Αριστοτέλης προϋπέθετε ότι κάθε κίνηση πρέπει να πραγματοποιείται εντός ενός μέσου. Με βάση αυτό και πιστεύοντας ότι η ταχύτητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της πυκνότητας του μέσου, οδηγήθηκε στην απόρριψη της δυνατότητας κίνησης στο κενό - αφού η πυκνότητα του κενού είναι μηδέν, η ταχύτητα θα γινόταν απείρως μεγάλη (πράγμα αδύνατο) - και στην απόρριψη της ίδιας της ύπαρξης του κενού στο φυσικό κόσμο.

Οι παραπάνω κανόνες του Αριστοτέλη δεν έρχονται σε τόσο μεγάλη αντίθεση με τα δεδομένα της παρατήρησης. Αντίθετα, φαίνονται αρκετά εύλογοι. Ας το δούμε αυτό λίγο πιο προσεκτικά. Ο Αριστοτέλης συνδέει την κινητική συμπεριφορά ενός σώματος σε ελεύθερη πτώση (φυσική κίνηση) με το βάρος του - ισχυρίζεται, δηλαδή, ουσιαστικά ότι η ταχύτητα είναι ανάλογη του βάρους. Στην ελεύθερη πτώση στο κενό, αυτό, όπως ξέρουμε, δεν ισχύει. Όταν όμως η ελεύθερη πτώση διενεργείται εντός ενός μέσου, π.χ. εντός του αέρα, τα βαρύτερα σώματα πέφτουν πράγματι με μεγαλύτερη ταχύτητα από τα ελαφρότερα που έχουν το ίδιο σχήμα και τις ίδιες διαστάσεις. Αυτό είναι ένα πραγματικό δεδομένο της παρατήρησης. Ο Αριστοτέλης, λοιπόν, δεν είχε άδικο όταν συνέδεε το βάρος με την ταχύτητα στην περίπτωση της κίνησης που πραγματοποιείται εντός ενός μέσου. Σωστή είναι επίσης η διαπίστωση του Αριστοτέλη ότι η κίνηση εντός ενός πυκνού μέσου είναι πιο αργή από την κίνηση εντός ενός μέσου πιο αραιού. Και εδώ, βεβαίως, πρέπει να παρατηρήσουμε ότι δεν είναι ακριβής ο προσδιορισμός της σχέσης ταχύτητας και πυκνότητας ως σχέσης

ποσών αντιστρόφως αναλόγων.

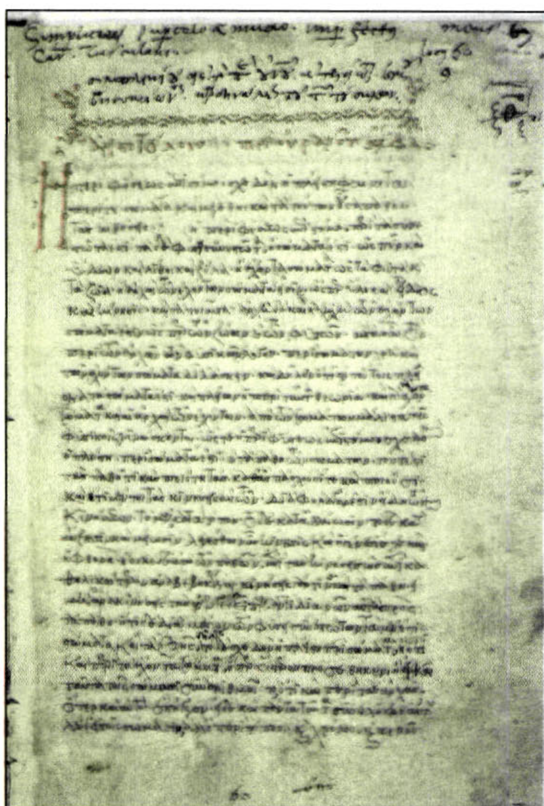
Η αριστοτελική δυναμική, λοιπόν, δεν παρέλειψε να λάβει υπόψη της τα δεδομένα της εμπειρίας. Όλα τα παραδείγματα που χρησιμοποιεί ο Αριστοτέλης για να μελετήσει την κίνηση είναι πραγματικά παραδείγματα, δηλαδή παραδείγματα από τον κόσμο της εμπειρίας, από το φυσικό κόσμο. Ένα παράδειγμα, λ.χ., που χρησιμοποιεί είναι αυτό ενός πλοίου που ρυμουλκείται στη θάλασσα: το πλοίο ρυμουλκείται πολύ πιο εύκολα, όταν είναι άδειο (άρα, η ταχύτητά του είναι αντιστρόφως ανάλογη του βάρους), και επίσης η ταχύτητά του αυξάνεται, όταν ρυμουλκείται από περισσότερα του ενός ρυμουλκά (άρα, η ταχύτητα είναι ανάλογη της κινητήριας δύναμης).

Ωστόσο, οι μεταγενέστεροι θεωρητικοί άσκησαν κριτική στον Αριστοτέλη. Έτσι, όπως θα δούμε αργότερα, τον 6ο μ.Χ. αι., ο Ιωάννης Φιλόπονος θα παρουσιάσει μια σειρά από εμπειρικά επιχειρήματα, για να απορρίψει τη διδασκαλία ότι η ταχύτητα ενός σώματος σε ελεύθερη πτώση είναι ευθέως ανάλογη του βάρους του.

4.2 Οι κινήσεις των ουράνιων σωμάτων

Όπως είπαμε, η γη, το νερό, ο αέρας και η φωτιά είναι, κατά τον Αριστοτέλη, η πρώτη ύλη από την οποία αποτελείται καθετί που υπάρχει πάνω στη γη. Αντίθετα, υποστήριζε, τα ουράνια σώματα δεν αποτελούνται από τα τέσσερα αυτά στοιχεία αλλά από ένα πέμπτο στοιχείο, μια πέμπτη ουσία (*πεμπτουσία*) - τον αιθέρα.

Η θεωρία του Αριστοτέλη για τον αιθέρα έγινε αντικείμενο των πιο πολλών επικρίσεων και χλευασμών από κάθε άλλη θεωρία της αρχαίας επιστήμης. Έχει, λοιπόν, ιδιαίτερο ενδιαφέρον να εξετάσου-



Ελληνικό χειρόγραφο του 14ου αι. με το σχόλιο του Σιμπλίκιου στο Περί ουρανού *του Αριστοτέλη.*

με τους λόγους που επέβαλαν στον Αριστοτέλη να την προτείνει. Το πρόβλημα, όπως το έβλεπε ο ίδιος, ήταν να ερμηνευθούν οι ιδιαίτερου είδους φυσικές κινήσεις των ουράνιων σωμάτων, τα οποία μεταφέρονται κυκλικά εκτελώντας ομαλές κυκλικές τροχιές. Πώς, όμως, θα μπορούσαν να εξηγηθούν αυτές οι αιώνιες και απαράλλακτες κυκλικές κινήσεις των ουράνιων σωμάτων;

Η φυσική κίνηση των τεσσάρων (γήινων) στοιχείων είναι να κατευθύνονται προς τα πάνω ή προς τα κάτω, να απομακρύνονται ή να πλησιάζουν προς το κέντρο της γης. Μπορούν, βεβαίως, να κινούνται και προς άλλες κατευθύνσεις, όπως όταν εκτοξεύεται ένα βαρύ σώμα στο αέρα, για παράδειγμα μια πέτρα. Όμως, αυτή η κίνηση δεν είναι φυσική, είναι βίαιη, εξαναγκασμένη, και ως τέτοια απαιτεί την ύπαρξη μιας κινητήριας δύναμης. Η κίνηση, τώρα, των ουράνιων σωμάτων είναι αιώνια. Άρα δεν μπορεί να είναι βίαιη κίνηση. Πρέπει, επομένως, να είναι φυσική κίνηση. Εδώ βρίσκεται το κύριο θεωρητικό επιχείρημα του Αριστοτέλη: ένα σώμα του οποίου η φυσική κίνηση είναι η κυκλική κίνηση δε μπορεί να ταυτίζεται με κανένα από τα τέσσερα (γήινα) στοιχεία ούτε να είναι κάποιος συνδυασμός αυτών των στοιχείων, γιατί οι φυσικές κινήσεις αυτών των στοιχείων είναι να πηγαίνουν προς τα πάνω ή προς τα κάτω· και αν κάποτε συμβαίνει να κινούνται κυκλικά, όπως για παράδειγμα όταν περιστρέφουμε μια πέτρα δεμένη σε ένα σχοινί, η κίνηση αυτή δεν είναι φυσική, είναι βίαιη (εξαναγκασμένη). Κατά συνέπεια, συμπεραίνει ο Αριστοτέλης, πρέπει να υπάρχει ένα άλλο στοιχείο, ένα πέμπτο στοιχείο, η φυσική συμπεριφορά του οποίου είναι να κινείται εκτελώντας συνεχώς κυκλική κίνηση. Αυτό είναι το κύριο θεωρητικό επιχείρημα που χρησιμοποιεί ο Αριστοτέλης για να υποστηρίξει την ύπαρξη του αιθέρα.

Πολλοί φιλόσοφοι μετά τον Αριστοτέλη αντιμετώπισαν διάφορες δυσκολίες με τη θεωρία του πέμπτου στοιχείου. Θα ολοκληρώσουμε, λοιπόν, την ενότητα αυτή απαριθμώντας ορισμένες από τις δυσκολίες αυτές:

1. Η θεωρία δεν εξηγούσε τι συμβαίνει στο σύνορο των δύο κόσμων, του γήινου (ή υποσελήνιου) και του κόσμου των ουράνιων σφαιρών. Ακριβώς πάνω από τη σφαίρα της σελήνης - που αποτελεί το σύνορο των δύο κόσμων - τα τέσσερα γήινα στοιχεία παραχωρούν τη θέση τους στο πέμπτο στοιχείο, τον αιθέρα. Πώς, όμως, γίνεται η μετάβαση από την κίνηση προς τα πάνω ή προς τα κάτω, που είναι η φυσική κίνηση που επικρατεί στην υποσελήνια περιοχή των τεσσάρων γήινων στοιχείων, στην κυκλική κίνηση, που είναι η φυσική κίνηση του αιθέρα;

2. Ένα δεύτερο πρόβλημα, στο οποίο η θεωρία για τον αιθέρα δεν έδινε ικανοποιητική απάντηση, ήταν αυτό της μετάδοσης θερμότητας από τον ήλιο, ο οποίος, ως ουράνιο σώμα, αποτελείται μόνο από αιθέρα (που δε χαρακτηρίζεται από την ποιότητα «θερμό»).

3. Το τρίτο πρόβλημα δε συνδέεται με τον αιθέρα αυτόν καθαυτόν - ως συστατικό στοιχείο της ουράνιας περιοχής του κόσμου - αλλά με τον ίδιο τον χωρισμό του κόσμου

σε δύο περιοχές - την υποσελήνια και την ουράνια. Όπως ξέρουμε, ο Αριστοτέλης απέδιδε φυσική υπόσταση στο μοντέλο των ομόκεντρων σφαιρών του Ευδόξου. Για να το πετύχει αυτό, είχε εισαγάγει στο σύστημα ορισμένες πρόσθετες σφαίρες, η λειτουργία των οποίων ήταν να μηδενίζουν την επίδραση των κινήσεων των εξωτερικών σφαιρών. Ταυτόχρονα, όμως, ο Αριστοτέλης δεχόταν ότι ορισμένα φαινόμενα που συμβαίνουν στην υποσελήνια περιοχή έχουν τις αιτίες τους στην ουράνια περιοχή. Ένα τέτοιο φαινόμενο είναι η μεταβολή της θερμοκρασίας στις διάφορες εποχές του χρόνου. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στην επίδραση του ήλιου. Πώς γίνεται, όμως, να συμβαίνει αυτό, αφού ανάμεσα στη γη και στον ήλιο παρεμβάλλεται η σελήνη με το δικό της σύστημα σφαιρών, στις οποίες περιλαμβάνονται και οι σφαίρες που μοναδικό σκοπό έχουν να μηδενίζουν τις επιδράσεις των εξωτερικών σφαιρών, άρα και της σφαίρας του ήλιου;

5 ΤΟ ΑΠΟΓΕΙΟ ΤΗΣ ΑΡΧΑΙΑΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ

Από τις αρχές του 3ου π.Χ. αι. η πνευματική εστία του ελληνόφωνου κόσμου δεν είναι πια η Αθήνα αλλά η Αλεξάνδρεια της σημερινής Αιγύπτου, η πιο σημαντική από τις δεκαέξι πόλεις με αυτό το όνομα που ίδρυσε ο Μέγας Αλέξανδρος. Αν και η Αίγυπτος ήταν το μικρότερο από τα τρία βασίλεια στα οποία μοιράστηκε η αυτοκρατορία του Αλεξάνδρου μετά το θάνατό του το 323 π.Χ., πολύ γρήγορα έγινε το πλουσιότερο και καλύτερα διοικούμενο. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στους τρεις πρώτους βασιλείς της δυναστείας των Πτολεμαίων (Σωτήρ, Φιλάδελφος και Ευεργέτης), που διαδέχθηκαν ο ένας τον άλλον από το 305 ως το 221 π.Χ. Επί Πτολεμαίου του Α΄ η Αλεξάνδρεια έγινε πρωτεύουσα της Αιγύπτου. Η διοίκησή της από τους Πτολεμαίους είχε ως αποτέλεσμα να εξελιχθεί η πόλη αυτή σε πολιτιστικό κέντρο και να γίνει για πολλούς αιώνες η σπουδαιότερη εστία επιστημονικής δραστηριότητας σε ολόκληρο τον τότε γνωστό κόσμο.

Η μεταφορά του κέντρου της επιστημονικής δραστηριότητας στην Αλεξάνδρεια είναι κάτι περισσότερο από μια απλή γεωγραφική μετατόπιση. Εκφράζει πρωτίστως μια αλλαγή στο όλο πνευματικό κλίμα, αλλαγή τόσο βαθιά, ώστε οι ιστορικοί αναφέρονται στην περίοδο που εγκαινιάζεται τον 3ο π.Χ. αι. χρησιμοποιώντας την ονομασία **ελληνιστική περίοδος**. Στην ελληνιστική περίοδο οι πνευματικοί και πολιτιστικοί δεσμοί μεταξύ των Ελλήνων και των λαών που κατοικούν στις κατακτημένες περιοχές αναπτύσσονται, η καλλιέργεια των γραμμάτων και των επιστημών γίνεται αντικείμενο κρατικής μέριμνας, η επιστημονική δραστηριότητα διευρύνεται θεματικά και εξειδικεύεται, ενώ το καλλιεργημένο κοινό στο οποίο απευθύνεται είναι πλέον πιο περιορισμένο και εντοπίζεται, κυρίως, στους ειδικούς των βασιλικών και πριγκιπικών αυλών της Αλεξάνδρειας, των Συρακουσών, της Σελεύκειας και των άλλων μεγάλων πόλεων της αχανούς πρώην ενιαίας αυτοκρατορίας.

Αντιπροσωπευτικά της νέας αυτής πνευματικής ατμόσφαιρας είναι δύο φημισμένα ιδρύματα, που θεμελιώθηκαν στην Αλεξάνδρεια από τους δύο πρώτους Πτολεμαίους, το Μουσείο και η Βιβλιοθήκη. Το ***Μουσείο*** (δηλαδή: Ναός των Μουσών) ιδρύθηκε περί το 280 π.Χ. από τον Πτολεμαίο τον Β΄, στο πνεύμα του Λυκείου του Αριστοτέλη, και σύντομα συγκέντρωσε στις τάξεις του τους κορυφαίους γραμματικούς, ιστορικούς, ποιητές, μηχανικούς, αρχιτέκτονες, γεωγράφους, αστρονόμους, μαθηματικούς, ανατόμους και φυσιολόγους απ' όλο τον κόσμο, έχοντας εξασφαλίσει γενναιόδωρη χρηματοδότηση από τους βασιλικούς θησαυρούς. Αποτελεί το πρώτο παράδειγμα στην ιστορία ανώτατου εκπαιδευτικού και ερευνητικού ιδρύματος, που λειτούργησε με δημόσια ή βασιλική δαπάνη, εξακολούθησε δε να λειτουργεί ως τον 5ο μ.Χ. αιώνα. Η ***Βιβλιοθήκη***, εξάλλου, η οποία είχε ιδρυθεί νωρίτερα από τον Πτολεμαίο τον Α΄, αναπτύχθηκε ταχύτατα και έγινε η μεγαλύτερη βιβλιοθήκη της αρχαιότητας, περιλαμβάνοντας στο απόγειό της περισσότερους από 400.000 κυλίνδρους παπύρου. Μόνο ο κατάλογος της Βιβλιοθήκης καταλάμβανε το 250 π.Χ. 120 κυλίνδρους. Η Βιβλιοθήκη γνώρισε πολλές καταστροφές κατά τη διάρκεια διαφόρων πολέμων, μερικά τμήματά της, ωστόσο, παρέμειναν ανέπαφα ως τον 4ο μ.Χ. αιώνα.

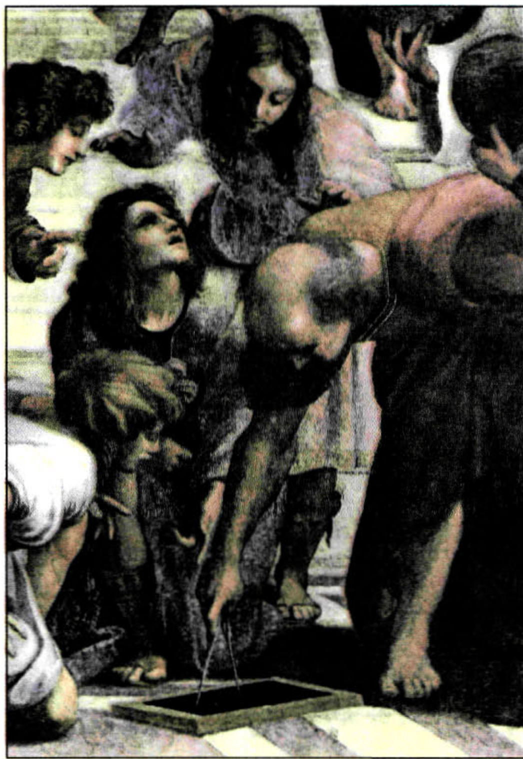
5.1 Τα ελληνιστικά μαθηματικά

Σύμφωνα με όσα είπαμε πιο πάνω, με την έλευση του 3ου π.Χ. αι. τα ελληνικά μαθηματικά εισέρχονται σε μια νέα περίοδο. Τώρα, οι πηγές που έχουμε στη διάθεσή μας είναι ασύγκριτα πλουσιότερες και πληρέστερες απ' ότι παλαιότερα και, το κυριότερο, τα μαθηματικά που παράγονται είναι πολύ πιο ώριμα και αυστηρά συγκροτημένα σε σύγκριση με την προηγούμενη περίοδο. Ιδιαίτερα ο 3ος π.Χ. αι. μπορεί να χαρακτηριστεί ως ο «χρυσός αιώνας» των ελληνικών μαθηματικών, καθώς λαμπρύνεται με την παρουσία τριών από τους πιο μεγαλοφυείς μαθηματικούς όλων των εποχών, του Ευκλείδη, του Αρχιμήδη και του Απολλωνίου. Στις παραγράφους που ακολουθούν θα ασχοληθούμε με μερικές βασικές πλευρές του έργου αυτών των τριών μαθηματικών.

5.1.1 *Τα «Στοιχεία» του Ευκλείδη*

Τα *Στοιχεία* είναι το πιο φημισμένο σύγγραμμα στην ιστορία των μαθηματικών και ένα από τα σπουδαιότερα συγγράμματα της παγκόσμιας γραμματείας. Είναι το έργο που έχει γνωρίσει τις περισσότερες εκδόσεις από κάθε άλλο έργο εκτός από τη Βίβλο, και ένας ολόκληρος κόσμος έμαθε γεωμετρία απ' αυτό. Για τη ζωή του συγγραφέα αυτού του έργου γνωρίζουμε ελάχιστα πράγματα. Ξέρουμε ότι δίδαξε στην

Αλεξάνδρεια και ότι ήταν μεγαλύτερος σε ηλικία από τον Αρχιμήδη, πράγμα που σημαίνει ότι η χρονολόγησή του «γύρω στο 300 π.Χ.» δεν πρέπει να απέχει πολύ από την αλήθεια. Ο Πρόκλος, επίσης, αναφέρει ότι ο Ευκλείδης ήταν σύγχρονος του βασιλιά Πτολεμαίου του Α΄, στον οποίο είχε το θάρρος να πει κατά πρόσωπο πως «δεν υπάρχει βασιλική οδός προς τη γεωμετρία». Ο Πάππος, εξάλλου, τον επαινεί για την ηθική του ακεραιότητα, για τη μετριοφροσύνη του και για την ευμενή στάση του προς όσους ήταν ικανοί να προαγάγουν τη μαθηματική γνώση. Ο Στοβαίος, τέλος, διηγείται το ακόλουθο ενδιαφέρον περιστατικό: ένας νέος επισκέφθηκε κάποτε τον Ευκλείδη και τον παρακάλεσε να τον διδάξει γεωμετρία. Μόλις, όμως, έμαθε το πρώτο θεώρημα, ρώτησε τον Ευκλείδη: «Και τώρα τι θα κερδίσω με το θεώρημα αυτό;» Ο Ευκλείδης, τότε, γύρισε προς τον υπηρέτη του και του είπε: «Δώσε του τρεις δεκάρες, ώστε να κερδίσει κάτι από το θεώρημα το οποίο έμαθε!» Αυτά είναι όλα όσα γνωρίζουμε για τον άνθρωπο. Πολύ μεγαλύτερη σημασία, όμως, έχει το έργο του, το οποίο, ακόμη και σήμερα, μαρτυρεί τα απαράμιλλα χαρίσματά του ως δασκάλου.



Ευκλείδης. Λεπτομέρεια από τον πίνακα «Η σχολή των Αθηνών» του Ραφαήλ.

Ο κατάλογος των έργων του Ευκλείδη είναι μακρύς, εκείνο όμως που του εξασφάλισε την αθανασία είναι τα *Στοιχεία* (ή καλύτερα *Στοιχείωσις*, όπως πρέπει να ήταν ο πραγματικός τίτλος). Το έργο αποτελείται από 13 βιβλία (κεφάλαια) και μπορεί να χωριστεί σε επιμέρους ενότητες. Έτσι, τα δύο πρώτα βιβλία πραγματεύονται την κατασκευή και τις ιδιότητες των βασικών ευθύγραμμων σχημάτων και τα κύρια αποτελέσματα που περιέχουν είναι το Πυθαγόρειο θεώρημα (I.47) και ο τετραγωνισμός τυχόντος πολυγώνου (II.14). Τα βιβλία III και IV πραγματεύονται τις ιδιότητες του κύκλου και των εγγεγραμμένων και περιγεγραμμένων πολυγώνων. Το βιβλίο V είναι αφιερωμένο στη θεωρία αναλογιών επί γεωμετρικών μεγεθών, η οποία στο επόμενο βιβλίο (VI) εφαρμόζεται στην ομοιότητα των επίπεδων σχημά-



Ελληνικό χειρόγραφο του 9ου αι., που περιέχει τα Στοιχεία του Ευκλείδη. Στη σελίδα δεξιά διακρίνεται το σχήμα της πρότασης Ι.47 (Πυθαγόρειο θεώρημα). Το περιθώριο του χειρογράφου καλύπτεται από σχόλια γραμμένα από διάφορους σχολιαστές (όπως μπορούμε να καταλάβουμε από τη διαφορά στους γραφικούς χαρακτήρες).

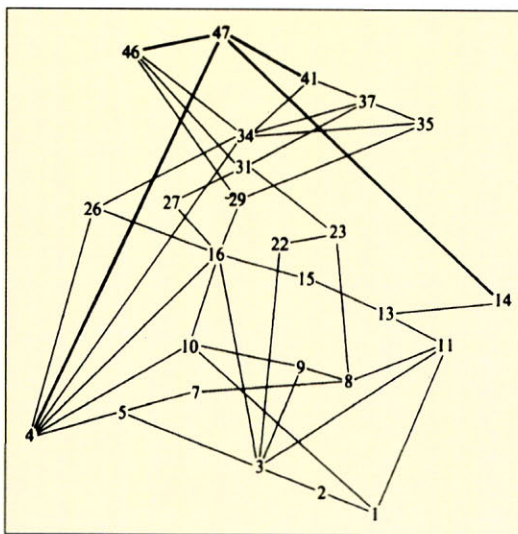
των. Τα τρία βιβλία που ακολουθούν (VII, VIII, IX) περιέχουν τη θεωρία των αριθμών, ενώ το βιβλίο X, που είναι το ογκωδέστερο όλων, πραγματεύεται την ασυμμετρία και την ταξινόμηση των ασύμμετρων μεγεθών. Τέλος, τα βιβλία XI-XIII περιλαμβάνουν τη γεωμετρία του χώρου και περιέχουν μεταξύ άλλων τις μεθόδους εύρεσης των όγκων του κυλίνδρου και του κώνου και τις κατασκευές των κανονικών πολυέδρων.

Μεγάλο μέρος του περιεχομένου των *Στοιχείων* οφείλεται σε εργασίες μαθηματικών προγενέστερων του Ευκλείδη. Έτσι, η θεωρία των αναλογιών του πέμπτου βιβλίου οφείλεται στον Εύδοξο· σ' αυτόν οφείλονται, επίσης, οι εφαρμογές της μεθόδου της εξάντλησης για την απόδειξη των κανόνων που αναφέρονται στην εύρεση των όγκων της πυραμίδας και του κώνου και περιέχονται στο δωδέκατο βιβλίο. Στο Θεαίτητο (περ. 417-369 π.Χ.) οφείλονται η ταξινόμηση των ασύμμετρων μεγεθών του δεκάτου βιβλίου και μέρος του περιεχομένου του δέκατου τρίτου. Πολλά από τα αριθμητικά θεωρήματα των βιβλίων VII-IX ήταν γνωστά στους Πυθαγορείους. Τέλος, πολλά θεωρήματα των τεσσάρων πρώτων βιβλίων ήταν γνωστά στον Ιπποκράτη τον Χίο. Η συμβολή του ίδιου του Ευκλείδη βρίσκεται στην τελειοποίηση μερικών αποδείξεων, κυρίως, όμως, έγκειται στη γενική οργάνωση του έργου. Το αποτέ-

λεσμα είναι μια σύνθεση που χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό μεθοδικότητας και συνέπειας, και αποτέλεσε εφεξής το υπόδειγμα για τη συγγραφή κάθε έργου, όχι μόνο στα μαθηματικά αλλά και σε άλλες επιστήμες.

Τα *Στοιχεία* είναι το αρχαιότερο σωζόμενο παράδειγμα έργου που με μεγάλη συνέπεια είναι γραμμένο με **αξιωματική-παραγωγική μορφή**· όλες δηλαδή οι προτάσεις (θεωρήματα και προβλήματα κατασκευών) που περιέχει μπορούν να εξαχθούν με παραγωγικό συλλογισμό από λίγες τον αριθμό *πρώτες αρχές*, χρησιμοποιούνται δε σε αυτό τρία είδη τέτοιων αρχικών προτάσεων, οι ***ορισμοί***, τα ***αιτήματα*** και τα ***αξιώματα*** (που ο Ευκλείδης αποκαλεί ***κοινές έννοιες***).

Για να καταλάβουμε τι σημαίνει αξιωματική-παραγωγική μορφή και να δούμε τι είναι αυτό που τελικά κατόρθωσε ο Ευκλείδης, αρκεί να διαβάσουμε προσεκτικά μια πρόταση από τα *Στοιχεία*, επισημαίνοντας σε κάθε βήμα της απόδειξης τις προηγούμενες προτάσεις που χρησιμοποιούνται, στη συνέχεια τις προτάσεις που χρησιμοποιούνται στις αποδείξεις αυτών των προτάσεων και ούτω καθεξής. Αν το κάνουμε αυτό, λ.χ., στην περίπτωση της πρότασης Ι.47 (Πυθαγόρειο θεώρημα), θα διαπιστώσουμε ότι η δομή της απόδειξής της είναι όπως αυτή που συνοψίζεται στο ακόλουθο λογικό διάγραμμα (όπου οι αριθμοί δηλώνουν τις αντίστοιχες προτάσεις του πρώτου βιβλίου των *Στοιχείων* - το διάγραμμα έχει ληφθεί από το φυλλάδιο με τίτλο «The Greek Concept of Proof» της σειράς MA290: Topics in the History of Mathematics, του αγγλικού Ανοικτού Πανεπιστημίου):



Από το διάγραμμα αυτό φαίνεται κατ' αρχάς ότι η λογική δομή της απόδειξης του συγκεκριμένου θεωρήματος δεν είναι μια απλή γραμμική πορεία αλλά μια πυκνή και περίπλοκη συναρμογή κρίκων της συμπερασματικής αλυσίδας. Βλέπουμε, επίσης, ότι η προς τα κάτω πορεία των κρίκων της συμπερασματικής αλυσίδας δε συνεχίζεται επ' άπειρον, αλλά σταματά. Υπάρχουν δηλαδή προτάσεις οι οποίες δεν αποδεικνύονται από άλλες προηγούμενες προτάσεις, αλλά απορρέουν απευθείας από τα αξιώματα («αιτήματα» και «κοινές έννοιες») που παραθέτει ο Ευκλείδης στην αρχή του βιβλίου. Ας περάσουμε, λοιπόν, ακριβώς σε αυτές τις αρχικές προτάσεις, που αποτελούν και τον πυρήνα της αξιωματικής δομής.

Τα «αιτήματα» είναι αρχικές προτάσεις οι οποίες προσιδιάζουν στη συγκεκριμένη κάθε φορά επιστήμη, στην προκειμένη περίπτωση στη γεωμετρία. Ο Ευκλείδης διατυπώνει πέντε αιτήματα:

1. *Ζητείται να γίνει δεκτό ότι από οποιοδήποτε σημείο σε οποιοδήποτε σημείο άγεται ευθεία γραμμή.*

2. *Και (ότι) πεπερασμένη ευθεία προεκτείνεται σε ευθεία κατά συνεχή τρόπο.*

3. *Και (ότι) με οποιοδήποτε κέντρο και διάστημα γράφεται κύκλος.*

4. *Και (ότι) όλες οι ορθές γωνίες είναι ίσες μεταξύ τους.*

5. *Και αν η ευθεία η οποία τέμνει δύο ευθείες σχηματίζει δύο εντός και επί τα αυτά μέρη γωνίες μικρότερες των δύο ορθών, τότε οι δύο ευθείες προεκτεινόμενες επ' άπειρον συναντώνται προς εκείνα τα μέρη τους όπου βρίσκονται οι μικρότερες των δύο ορθών.*

Ο ρόλος των τριών πρώτων αιτημάτων είναι να εξασφαλίσουν τη δυνατότητα της κατασκευής της ευθείας και του κύκλου και, κατά συνέπεια, μόνο εκείνων των γραμμών και των γεωμετρικών σχημάτων που κατασκευάζονται με πεπερασμένο αριθμό βημάτων από τις δύο αυτές βασικές γραμμές. Στα *Στοιχεία*, επομένως, δεν έχουν θέση καμπύλες όπως είναι οι κωνικές τομές, η τετραγωνίζουσα κτλ. Η φύση των δύο τελευταίων αιτημάτων είναι διαφορετική. Αποσκοπούν στο να εξασφαλίσουν ότι κάποια γεωμετρικά σχήματα έχουν ορισμένες ειδικές ιδιότητες. Ιδιαίτερα για το πέμπτο αίτημα, το περίφημο αίτημα των παραλλήλων, πρέπει να σημειώσουμε ότι από τη στιγμή που διατυπώθηκε οι μαθηματικοί πίστεψαν ότι θα μπορούσαν να το συναγάγουν από τα υπόλοιπα αιτήματα, γεγονός που, αν συνέβαινε, θα το καθιστούσε περιττό και, τελικά, θα το μετέτρεπε σε απλό θεώρημα. Ωστόσο, προσπάθειες αιώνων να αποδειχθεί το αίτημα αυτό απέβησαν άκαρπες και μόλις τον 19ο αι., με την ανακάλυψη των μη-ευκλείδειων γεωμετριών, αποδείχθηκε περίτρανα ότι το αίτημα αυτό είναι ανεξάρτητο των υπολοίπων και ότι ο Ευκλείδης είχε απόλυτο δίκιο που το συμπεριέλαβε μεταξύ των αιτημάτων.

Αντίθετα με τα αιτήματα, οι «κοινές έννοιες» είναι προτάσεις οι οποίες δεν προσιδιάζουν σε μία μόνο συγκεκριμένη επιστήμη, αλλά η ισχύς τους είναι γενική και καλύπτει κάθε επιστήμη. Για παράδειγμα, οι τρεις πρώτες από τις κοινές έννοιες,

1. *τα προς το αυτό ίσα είναι και μεταξύ τους ίσα, και*
2. *αν σε ίσα προστεθούν ίσα, τα όλα είναι ίσα, και*
3. *αν από ίσα αφαιρεθούν ίσα, αυτά που υπολείπονται είναι ίσα,*

χρησιμοποιούνται και σήμερα ως αξιώματα σε κάθε εγχειρίδιο σχολικής άλγεβρας, αριθμητικής κτλ.



5.1.2 Ο Αρχιμήδης

Ο Αρχιμήδης (περ. 287-212 π.Χ.) ήταν ο πιο σημαντικός μαθηματικός της αρχαιότητας. Το γεγονός, μάλιστα, ότι διασώζονται για τη ζωή του περισσότερες μαρτυρίες απ' όσες διασώζονται για τη ζωή οποιουδήποτε άλλου αρχαίου μαθηματικού ίσως να μην είναι απλή σύμπτωση, αλλά να οφείλεται, ακριβώς, στην εκτίμηση με την οποία οι επόμενες γενιές περιέβαλαν το πρόσωπό του.

Τα γεωμετρικά συγγράμματα του Αρχιμήδη διαφοροποιούνται από το κλασικό σύγγραμμα του Ευκλείδη ως προς ένα καίριας σημασίας σημείο: ο Αρχιμήδης καταθέτει συχνά τη **μέθοδο ανακάλυψης** των θεωρημάτων, προτού παρουσιάσει την αυστηρή απόδειξή τους κατά το ευκλείδειο πρότυπο. Διασώζεται, μάλιστα, ένα σύγγραμμά του με τον τίτλο *Περί των μηχανικών θεωρημάτων προς Ερατοσθένη έφοδος*, αφιερωμένο αποκλειστικά στις ευρετικές μεθόδους που χρησιμοποίησε προκειμένου να οδηγηθεί σε ορισμένα αποτελέσματα τα οποία, σε άλλες πραγματείες του, τα αποδεικνύει με αυστηρό τρόπο.

Αν θα θέλαμε να περιγράψουμε με λίγα λόγια το επιστημονικό έργο του Αρχιμήδη, θα εντοπίζαμε τα βασικά χαρακτηριστικά του στα ακόλουθα σημεία:

1. Στην πρόσληψη των «απειροστικών» μεθόδων του Ευδόξου (μέθοδος της εξάντλησης) και στην επιτυχή εφαρμογή τους για την εύρεση εμβαδών και όγκων καμπυλόγραμμων σχημάτων.
2. Στην ανάπτυξη ευρετικών μεθόδων με βάση τις οποίες ήταν σε θέση να γνωρίζει πολλά μαθηματικά αποτελέσματα, προτού ακόμη τα αποδείξει με αυστηρό (κατά κανόνα γεωμετρικό) τρόπο.
3. Στην επεξεργασία μαθηματικών μοντέλων για την περιγραφή φυσικών φαινομένων της στατικής και της υδροστατικής και στην επινόηση μηχανικών κατασκευών, η λειτουργία των οποίων βασίζεται στην εφαρμογή φυσικών αρχών.

ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ

Για τη ζωή του Αρχιμήδη διασώζονται, όπως έχουμε αναφέρει, πολλές πληροφορίες από την αρχαιότητα. Γνωρίζουμε με βεβαιότητα τη χρονολογία θανάτου του, ο οποίος συνέβη το Σεπτέμβριο του έτους 212 π.Χ., κατά την άλωση των Συρακουσών από το Ρωμαίο ύπατο Μάρκελλο. Η χρονολογία της γέννησής του μπορεί να συναχθεί εμμέσως με βάση τη μαρτυρία του

Βυζαντινού πολυΐστορος Τζέτζη ότι κατά το έτος του θανάτου του διήνυε το 75ο έτος της ηλικίας του. Αν η μαρτυρία είναι ακριβής, τότε συμπεραίνουμε ότι ο Αρχιμήδης γεννήθηκε το 287 π.Χ.

Ο Αρχιμήδης ήταν γιος του αστρονόμου Φειδία και, κατά τον Πλούταρχο, φίλος και συγγενής του τυράννου Ιέρωνος Β΄ των Συρακουσών, υπό τη διοίκηση του οποίου (από το 270 έως το 216 π.Χ.) η πόλη γνώρισε μεγάλη άνθηση. Θεωρείται σχεδόν βέβαιο ότι όταν ήταν νέος ταξίδεψε στην Αλεξάνδρεια, όπου και παρέμεινε για ένα διάστημα. Συνήψε σχέσεις με τον κύκλο των εκεί επιστημόνων, με πολλούς από τους οποίους δημιούργησε προσωπική φιλία και διατηρούσε επιστημονική αλληλογραφία. Έτσι, πολλά από τα έργα του φέρουν προλόγους, οι οποίοι έχουν μορφή επιστολής που απευθύνεται σε αλεξανδρινούς επιστήμονες, μεταξύ των οποίων πρέπει να μνημονεύσουμε τον Ερατοσθένη τον Κυρηναίο (διευθυντή της περίφημης Βιβλιοθήκης), το μαθηματικό Κόνωνα († 240 π.Χ.) και το μαθητή αυτού Δοσίθεο. Το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του, πάντως, ο Αρχιμήδης το πέρασε στις Συρακούσες, αφοσιωμένος στις μαθηματικές μελέτες του, αλλά και καλούμενος συχνά από τον Ιέρωνα και τον διάδοχό του να αξιοποιήσει τη μαθηματική του μεγαλοφυία προκειμένου να επιλύσει διάφορα πρακτικά προβλήματα.

Πολλές μαρτυρίες διασώζονται που αναφέρονται στην αφοσίωση του Αρχιμήδη στη μαθηματική έρευνα. Ο Πλούταρχος, λ.χ., αναφέρει στον *Βίο του Μαρκέλλου*: «Σαν να τον μάγευε μια έμφυτη και κατοικούσα πάντοτε μέσα του σειρήνα, λησμονούσε και να λάβει την τροφή και να περιποιείται το σώμα του, πολλές φορές δε συρόμενος από τους υπηρέτες για το άλειμμα (με λάδι) και το λουτρό, έγραφε στην τέφρα γεωμετρικά σχήματα και, ενώ το σώμα ήταν αλειμμένο με λάδι έγραφε με το δάκτυλό του γραμμές [γεωμετρικά σχήματα] κατεχόμενος από μεγάλη ηδονή και κυριαρχούμενος υπό των Μουσών». Μια άλλη αντίστοιχη μαρτυρία και πάλι από τον Πλούταρχο αναφέρει ότι όταν βρισκόταν στο λουτρό και συνέλαβε τη λύση του προβλήματος της εξακρίβωσης της γνησιότητας του χρυσού στεφάνου του Ιέρωνα, πήδηξε από το λουτρό και σαν άνθρωπος που καταλαμβάνεται από θεία μανία βάδιζε γυμνός στις οδούς της πόλης φωνάζοντας το περίφημο ΕΥΡΗΚΑ. Οι μαρτυρίες αυτές, ανεξάρτητα από το αν ανταποκρίνονται απολύτως στην ιστορική αλήθεια, φανερώνουν την αφοσίωση του Αρχιμήδη στην επιστημονική έρευνα, αφοσίωση, άλλωστε, η οποία του κόστισε, όπως ξέρουμε, και την ίδια τη ζωή του.

Ο Αρχιμήδης, όμως, επέδειξε εξαιρετική εφευρετικότητα στη μηχανική και την τεχνολογία, αν και αυτή την απασχόληση τη θεωρούσε διασκέδαση και πάρεργο. Η εφευρετικότητά του έλαμψε, κυρίως, κατά τη διάρκεια του 2ου καρχηδονιακού πολέμου, όταν η πόλη των Συρακουσών, ως σύμμαχος της Καρχηδόνας, περικυκλώθηκε από τους Ρωμαίους. Ας δώσουμε τον λόγο στον Ιταλό ιστορικό των μαθηματικών Gino Loria (Τζίνο Λόρια, 1862-1939): «Ο Αρχιμήδης έθεσε την ιδιοφυία του στην υπηρεσία της πατρώας γης και αποδείχθηκε τόσο καταπληκτικά γόνιμος στην επινόηση πρωτότυπων όπλων, αμυντικών και επιθετικών (αρκεί να μνημονεύσουμε τους φοβερούς καταπέλτες και τα θρυλικά καυστικά κάτοπτρα), ώστε παρουσίασε το μοναδικό στην ιστορία φαινόμενο ενός άνδρα να μάχεται μόνος για μια τριετία εναντίον ολόκληρου στρατεύματος». Το

αποτέλεσμα της πολιορκίας είναι γνωστό. Οι Συρακούσες καταλήφθηκαν ύστερα από προδοσία, και κατά τη διάρκεια της λεηλασίας που ακολούθησε ο Αρχιμήδης φονεύθηκε από Ρωμαίο στρατιώτη.

Στη μνήμη του ανεγέρθηκε αντάξιος τάφος, επάνω στον οποίο, σύμφωνα με δική του επιθυμία, χαράχθηκε σφαίρα εγγεγραμμένη σε κύλινδρο, για να υπενθυμίζει στις επερχόμενες γενιές ένα από τα σπουδαιότερα μαθηματικά αποτελέσματά του. Το μνημείο αυτό ανακαλύφθηκε αργότερα, γύρω στο 75 π.Χ. από τον Κικέρωνα, όταν υπηρετούσε ως Οικονομικός Διοικητής (Quaestor) στη Σικελία. Σήμερα δεν υπάρχει κανένα ίχνος του.

Ο νόμος για την ισορροπία του ζυγού

Αναφέραμε πιο πάνω ότι ο Αρχιμήδης επεξεργάστηκε **μαθηματικά μοντέλα** προκειμένου να μελετήσει διάφορα φυσικά φαινόμενα και να εξαγάγει **ποσοτικά αποτελέσματα** σχετικά με αυτά. Δύο πολύ γνωστοί σήμερα νόμοι, που διέπουν αντίστοιχα φυσικά φαινόμενα, οφείλονται σε αυτόν: ο νόμος για την ισορροπία του ζυγού (τον οποίο, μάλιστα, εφάρμοσε ευρέως προκειμένου να βρει το κέντρο βάρους διαφόρων στερεών) και η λεγόμενη βασική αρχή της υδροστατικής.

Η απόδειξη του νόμου για την ισορροπία του ζυγού δίνεται από τον Αρχιμήδη στο πρώτο βιβλίο της πραγματείας *Μηχανικά* (αναφέρεται συχνά και με το μεταγενέστερο τίτλο *Επιπέδων ισορροπιών ή κέντρα βαρών επιπέδων*). Το βιβλίο περιλαμβάνει 15 προτάσεις. Των προτάσεων αυτών προηγείται η διατύπωση 7 αιτημάτων (*προλαμβανόμενα*), που εξασφαλίζουν, ουσιαστικά, τη μετατροπή του προβλήματος της μελέτης του ζυγού από **φυσικό** σε **μαθηματικό** πρόβλημα. Παραθέτουμε εδώ τέσσερα από τα αιτήματα αυτά:

1. Λαμβάνουμε ως αίτημα τα ίσα βάρη να ισορροπούν, όταν εξαρτώνται σε ίσα μήκη, ενώ τα ίσα βάρη, όταν εξαρτώνται σε άνισα μήκη, να μην ισορροπούν, αλλά να κλίνει (η φάλαγγα) προς το βάρος που είναι εξαρτημένο στο μεγαλύτερο μήκος.

2. Εάν υπάρχουν βάρη που ισορροπούν εξαρτημένα σε ορισμένα μήκη και προστεθεί βάρος στο απ' αυτά, (λαμβάνουμε ως αίτημα) να μην υπάρχει ισορροπία, αλλά να κλίνει (η φάλαγγα) προς το βάρος εκείνο, στο οποίο έγινε η πρόσθεση.

3. Με τον ίδιο τρόπο, εάν από το ένα βάρος αφαιρεθεί κάτι, (λαμβάνουμε ως αίτημα) να μην υπάρχει ισορροπία, αλλά να κλίνει (η φάλαγγα) προς το βάρος από το οποίο δεν αφαιρέθηκε τίποτα.

6. Εάν μεγέθη εξαρτημένα σε ορισμένα μήκη ισορροπούν, και τα ίσα προς αυτά θα ισορροπούν στα ίδια μήκη.

Το βασικό θεώρημα, που αφορά τη συνθήκη ισορροπίας του ζυγού, διατυπώνεται και αποδεικνύεται στις προτάσεις 6 και 7. Η πρόταση 6 πραγματεύεται την περίπτωση στην οποία τα βάρη των δύο εξαρτώμενων μεγεθών είναι σύμμετρα, και η



Ο θάνατος του Αρχιμήδη. Ψηφιδωτό που προέρχεται, πιθανώς, από τη σχολή του Ραφαήλ.

πρόταση 7 την περίπτωση στην οποία είναι ασύμμετρα. Εμείς θα περιοριστούμε να παραθέσουμε δύο προτάσεις:

6. Τα σύμμετρα μεγέθη ισορροπούν σε αποστάσεις αντιστρόφως ανάλογες προς το λόγο των βαρών.

7. Αλλά και ασύμμετρα αν είναι τα μεγέθη, ομοίως θα ισορροπούν σε μήκη που έχουν λόγο αντίστροφο προς το λόγο των μεγεθών.

Η υδροστατική

Τα φαινόμενα της υδροστατικής ο Αρχιμήδης τα μελετά στην πραγματεία του που φέρει τον τίτλο [Περί] *Οχουμένων*. Έως τα τέλη του περασμένου αιώνα η πραγματεία αυτή σωζόταν μόνο στη λατινική μετάφραση που είχε εκπονήσει ο Γουλιέλμος του Μέρμπεκε (περ. 1215-1297). Το ελληνικό κείμενο ανακαλύφθηκε μόλις το 1899. Αποτελούσε μέρος ενός παλίμψηστου κώδικα του 10ου αι., που περιείχε επίσης και τη *Μέθοδο*.

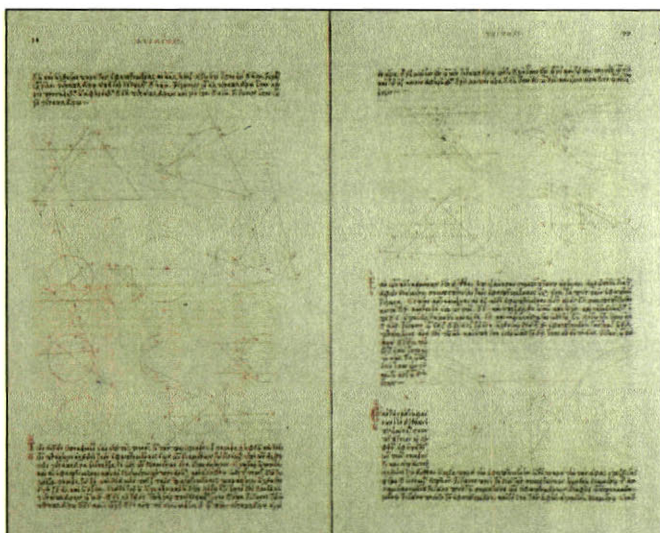
Η πραγματεία [Περί] *Οχουμένων* αποτελείται από δύο βιβλία με 9 και 10 προτάσεις αντίστοιχα. Το πρώτο βιβλίο αρχίζει, όπως και τα *Μηχανικά*, με ένα αίτημα, ο ρόλος του οποίου είναι να απλοποιήσει το πραγματικό πρόβλημα μετατρέποντάς το σε μαθηματικό. Η εξιδανίκευση του πραγματικού προβλήματος γίνεται, επίσης, στη δεύτερη πρόταση του πρώτου βιβλίου, όπου αποδεικνύεται ότι η επιφάνεια κάθε υγρού ευρισκόμενου σε ισορροπία είναι σφαιρική και το κέντρο της σφαίρας είναι το ίδιο με το κέντρο της γης. Με βάση αυτή την πρόταση ο Αρχιμήδης πραγματεύεται το φαινόμενο των σωμάτων που επιπλέουν ή βυθίζονται μέσα σε υγρό, σαν να αποτελεί το υγρό μέρος μιας σφαίρας. Η βασική αρχή της υδροστατικής διατυπώνεται και αποδεικνύεται στην πρόταση 7 του πρώτου βιβλίου: «Τα βαρύτερα του

υγρού στερεά, όταν αφήνονται στο υγρό, θα φέρονται προς τα κάτω, όσο είναι δυνατόν να βυθίζονται, και θα είναι ελαφρότερα μέσα στο υγρό τόσο όσο βάρος έχει το υγρό το οποίο έχει όγκο όσος είναι ο όγκος του στερεού μεγέθους».

Δε θα σταθούμε στην απόδειξη της πρότασης. Θα περιοριστούμε να μνημονεύσουμε ένα παράδειγμα πιθανής εφαρμογής της από τον Αρχιμήδη. Πρόκειται για την ιστορία με το στέφανο του Ιέρωνος, που διηγείται ο Βιτρούβιος στο γνωστό έργο του *De Architectura* [Περί Αρχιτεκτονικής]. Σύμφωνα με τη μαρτυρία του Βιτρούβιου, όταν ο Ιέρων έγινε βασιλιάς των Συρακουσών, θέλησε να αφιερώσει στους θεούς χρυσό στέφανο. Τον παράγγειλε, λοιπόν, έναντι αμοιβής από ένα χρυσοχόο, στον οποίο διέθεσε το χρυσό από τον οποίο θα τον κατασκεύαζε. Ο χρυσοχόος παρέδωσε το έργο στην προκαθορισμένη προθεσμία και το βάρος ήταν, πράγματι, ίσο προς το βάρος του χρυσού που του είχε διατεθεί. Αργότερα, όμως, διατυπώθηκε η κατηγορία ότι ο χρυσοχόος είχε αντικαταστήσει μέρος του χρυσού από άργυρο ανάλογου βάρους. Ο Ιέρων αγανάκτησε και ανέθεσε στον Αρχιμήδη να ερευνήσει εάν πράγματι τον είχε απατήσει ο τεχνίτης. Ο Βιτρούβιος περιγράφει πώς ο Αρχιμήδης απέδειξε την απάτη. Η περιγραφή του βασίζεται στη γνωστή ιστορία με το λουτρό και δε γίνεται χρήση της βασικής αρχής της υδροστατικής, ωστόσο, όπως έχει αποδείξει ο διαπρεπής Άγγλος ιστορικός των αρχαίων ελληνικών μαθηματικών Thomas L. Heath (Τόμας Χηθ, 1861-1940), ο τρόπος που εργάστηκε ο Αρχιμήδης μπορεί να ερμηνευθεί επίσης με βάση την αρχή αυτή.

5.1.3 Ο Απολλώνιος και η μελέτη των κωνικών τομών

Ο τρίτος επιφανής μαθηματικός της ελληνιστικής εποχής και, στην πραγματικότητα, ο τελευταίος μεγάλος γεωμέτρης του αρχαίου κόσμου ήταν ο Απολλώνιος από την Πέργη της Παμφυλίας στα νότια της Μικράς Ασίας (περ. 262-180 π.Χ.). Τη φήμη του στην αρχαιότητα την απέκτησε



Τα Κωνικά *του Απολλωνίου. Ελληνικό χειρόγραφο του έτους 1536.*

πρωτίστως από το έργο του στη μαθηματική αστρονομία: αυτός είναι που μαζί με τον Ίππαρχο εισήγαγε το πλανητικό μοντέλο του επικύκλου-φέροντος κύκλου, που αντικατέστησε το ευδόξειο μοντέλο των ομόκεντρων σφαιρών και κυριάρχησε στην ιστορία της αστρονομίας ως την Επιστημονική Επανάσταση. Για την ελληνιστική αστρονομία, όμως, θα μιλήσουμε στην επόμενη ενότητα. Το βασικό έργο του Απολλωνίου στη γεωμετρία είναι τα *Κωνικά*· είναι γραμμένο σε οκτώ βιβλία (κεφάλαια), από τα οποία σώζονται τα επτά, τέσσερα στο πρωτότυπο ελληνικό κείμενο και τρία σε αραβική μετάφραση. Στο έργο αυτό ο Απολλώνιος μετασχημάτισε ριζικά τη θεωρία των κωνικών τομών, οι απαρχές της μελέτης των οποίων ανάγονται στον Μέναιχμο, ενώ στην περαιτέρω επεξεργασία τους είχαν συμβάλλει προς τα τέλη του 4ου π.Χ. αι. οι Αρισταίος και Ευκλείδης (οι οποίοι έγραψαν και σχετικά συγγράμματα που δε διασώθηκαν), καθώς και ο Αρχιμήδης.

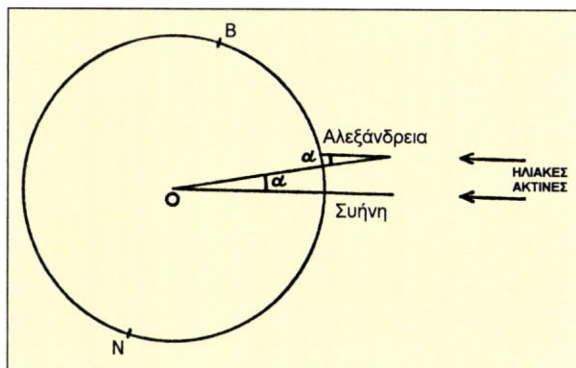
Όσες πληροφορίες έχουμε για τη ζωή του Απολλωνίου τις αντλούμε βασικά από τους προλόγους που έχει προτάξει σε μερικά από τα βιβλία των *Κωνικών*. Δυστυχώς, οι πληροφορίες αυτές δεν είναι πολλές. Μπορούμε να τις συνοψίσουμε λέγοντας ότι ο Απολλώνιος ήταν ένα τυπικό παράδειγμα αλεξανδρινού επιστήμονα: σπούδασε και έζησε για μεγάλο χρονικό διάστημα στην Αλεξάνδρεια, ταξίδεψε σε πολλές πόλεις της ανατολικής Μεσογείου και είχε επιστημονικές επαφές με τους κορυφαίους μαθηματικούς του τέλους του 3ου και των αρχών του 2ου π.Χ. αιώνα.

Με τον Ευκλείδη, τον Αρχιμήδη και τον Απολλώνιο η ελληνική γεωμετρική ερευνητική παράδοση έφτασε στο απόγειό της. Τα έργα τους, που ένα πολύ μεγάλο μέρος τους διασώθηκε σε αντίθεση με τα έργα των προγενεστέρων τους, ξεπεράστηκαν μόλις το 17ο αι., δηλαδή ύστερα από 2000 χρόνια περίπου, με τους Viète, Descartes, Fermat, Newton, Leibniz, στη διάρκεια της περιόδου που οι ιστορικοί της επιστήμης ονομάζουν Επιστημονική Επανάσταση. Δίκαια, λοιπόν, ο Ιταλός ιστορικός των μαθηματικών G. Loria αποκάλεσε τους τρεις αυτούς κορυφαίους Έλληνες μαθηματικούς «νομοθέτες της γεωμετρίας».

Η επιστημονική δραστηριότητα, όμως, που αναπτύχθηκε τον 3ο π.Χ. αι., δεν εξαντλείται σε όσα αναφέραμε για τους τρεις αυτούς μαθηματικούς. Εξαιρετικά σημαντικό είναι, επίσης, το έργο που παράχθηκε στη μαθηματική αστρονομία, σε κλάδους των εφαρμοσμένων μαθηματικών όπως η οπτική και η γεωγραφία, καθώς και στην εφαρμοσμένη μηχανική. Με τις εξελίξεις στην αστρονομία θα ασχοληθούμε στην επόμενη ενότητα. Εδώ θα στραφούμε προς τους κλάδους των εφαρμοσμένων μαθηματικών και θα αρκεστούμε να παρουσιάσουμε το έργο ενός ακόμη σημαντικού εκπροσώπου της ελληνιστικής επιστήμης, του Ερατοσθένη, στη μαθηματική γεωγραφία.

5.1.4 Ο Ερατοσθένης και η μέτρηση του μήκους της περιφέρειας της γης

Τον Ερατοσθένη τον Κυρηναίο τον συναντήσαμε, όταν συζητούσαμε το πρόβλημα του διπλασιασμού του κύβου. Ήταν σύγχρονος του Αρχιμήδη, με τον οποίο αλληλογραφούσε συχνά και διακρίθηκε στα μαθηματικά (όπου, εκτός από τη μηχανική επίλυση του προβλήματος της εύρεσης δύο μέσων αναλόγων, επινόησε μια μέθοδο για την εύρεση της ακολουθίας των πρώτων αριθμών, που είναι γνωστή στη βιβλιογραφία ως «κόσκινο του Ερατοσθένη»), αλλά επίσης στη μαθηματική γεωγραφία, τη φιλολογία, τη λογοτεχνία, την ποίηση, την ιστορία, την περιγραφική γεωγραφία (η οποία στην αρχαιότητα ονομαζόταν χρονογραφία), ενώ διετέλεσε και διευθυντής της Βιβλιοθήκης της Αλεξάνδρειας. Λόγω της πολυσχιδούς δραστηριότητάς του οι σύγχρονοί του τον αποκαλούσαν «Πένταθλο», του είχαν προσθέσει όμως και το παρατσούκλι «ο Βήτα», θέλοντας ίσως με αυτό να υποδηλώσουν ότι σε κανένα από τα επιστημονικά πεδία που απαριθμήσαμε πιο πάνω, ο Ερατοσθένης δεν ήταν ο καλύτερος. Εμείς θα αρκεστούμε εδώ να αναφέρουμε μια αξιοσημείωτη πλευρά του έργου του στη **μαθηματική γεωγραφία**: τον αυστηρό υπολογισμό του μήκους της γήινης περιφέρειας με βάση παρατηρήσεις που έκανε στην Αλεξάνδρεια και σε μια πόλη νοτιότερα αυτής, τη Συήνη (πλησίον του σημερινού Ασουάν), δύο πόλεις που βρίσκονται περίπου στον ίδιο μεσημβρινό. Ο Ερατοσθένης παρατήρησε ότι κατά τη μεσημβρία της ημέρας του θερινού ηλιοστασίου μια κατακόρυφη ράβδος στη Συήνη δεν άφηνε καθόλου σκιά (ο ήλιος ήταν στο ζενίθ του τόπου), ενώ την ίδια στιγμή μια αντίστοιχη ράβδος στην Αλεξάνδρεια άφηνε σκιά που αντιστοιχούσε σε γωνία ίση προς το 1/50 των 4 ορθών ($7\ 1/5^0$). Με έναν απλό γεωμετρικό συλλογισμό (όπως φαίνεται από το σχήμα που ακολουθεί) προκύπτει ότι την ίδια τιμή έχει και η επίκεντρη γωνία που βαίνει στο τόξο Αλεξάνδρεια-Συήνη· λαμβάνοντας υπόψη ότι η απόσταση Αλεξάνδρεια-Συήνη είχε υπολογισθεί σε 5000 στάδια ο Ερατοσθένης υπολόγισε ότι ολόκληρος ο γήινος μεσημβρινός έχει μήκος 250000 στάδια. Σύμφωνα με ορισμένες πληροφορίες, μάλιστα, είχε δώσει την ακριβέστερη τιμή 252000 στάδια. Αν θεωρήσουμε τώρα ότι το στάδιο ισούται προς 157,5 μέτρα, ο υπολογισμός του Ερατοσθένη δίνει για τη γήινη περιφέρεια την τιμή των 39690 χιλιομέτρων, μια τιμή που βρίσκεται πολύ κοντά στην πραγματική τιμή, που είναι 40009 χιλιόμετρα. Αληθινά ένα πολύ αξιόλογο επίτευγμα!



5.2 Η ελληνιστική αστρονομία

Τον 3ο π.Χ. αι. έκαναν την εμφάνισή τους στην αστρονομία δύο πολύ σημαντικές ιδέες: η *ηλιοκεντρική υπόθεση*, που διατύπωσε ο Αρίσταρχος ο Σάμιος, και το μοντέλο *επικύκλου-φέροντος* κύκλου για την εξήγηση της κίνησης των πλανητών κατά μήκος του ζωδιακού, που εισηγήθηκαν ο Απολλώνιος και ο Ίππαρχος.

5.2.1 Η ηλιοκεντρική υπόθεση του Αρίσταρχου

Στην πραγματεία του με τίτλο *Ψαμμίτης*, ο Αρχιμήδης παραθέτει την ακόλουθη μαρτυρία:

> *Ο Αρίσταρχος ο Σάμιος παρουσίασε μερικές θεωρίες,* [το κείμενο λέει: «*ὑποθεσίων τινῶν ἐξέδωκεν γραφάς*»] *κατά τις οποίες εκ των υπαρχόντων στοιχείων συνάγεται ότι ο κόσμος είναι πολύ μεγαλύτερος από εκείνον που είπαμε προηγουμένως. Διότι υποθέτει ότι από τους αστέρες οι μεν απλανείς και ο Ήλιος μένουν ακίνητοι, η δε Γη περιφέρεται σε περιφέρεια κύκλου γύρω από τον Ήλιο, ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο της* [κυκλικής] *τροχιάς, την δε σφαίρα των απλανών, η οποία κείται περί το αυτό κέντρο όπως και ο Ήλιος, υποθέτει ότι είναι τόσο μεγάλη, ώστε ο κύκλος, κατά τον οποίο υποθέτει ότι περιφέρεται η Γη, έχει τόση αναλογία προς την απόσταση των απλανών, όση έχει το κέντρο της σφαίρας προς την επιφάνεια.*

Σύμφωνα με τη μαρτυρία αυτή, ο Αρίσταρχος (περ. 310-230 π.Χ.) πρότεινε ένα ηλιοκεντρικό σύστημα, στο οποίο ο Ήλιος παραμένει ακίνητος στο κέντρο του κόσμου, ενώ η Γη, η οποία σύμφωνα με μια επιπρόσθετη πληροφορία του Πλούταρχου περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της, εκτελεί κυκλική περιφορά γύρω απ' αυτόν (στο απόσπασμα δεν γίνεται λόγος για ηλιοκεντρικές τροχιές και των υπόλοιπων πλανητών). Η σημασία της μαρτυρίας του Αρχιμήδη είναι εξαιρετικά σημαντική για την ιστορία της επιστήμης, καθώς τα έργα του ίδιου του Αρίσταρχου δεν έχουν διασωθεί, εκτός από ένα μικρό σύγγραμμα με τίτλο *Περί μεγεθών και αποστημάτων ηλίου και σελήνης*, που έχει ως θέμα τη σύγκριση των αποστάσεων γης-ηλίου και γης-σελήνης και είναι, επομένως, ανεξάρτητο από το εάν στο κέντρο βρίσκεται η γη ή ο ήλιος.

Ο Αρίσταρχος δεν ήταν ο πρώτος που απομάκρυνε τη γη από το κέντρο του κόσμου. Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, την ιδέα αυτή την είχε προτείνει ο πυθαγόρειος Φιλόλαος στα τέλη του 5ου π.Χ. αι., μόνο που εκείνος τοποθετούσε στο κέντρο του κόσμου την *Εστία*. Η πρωτοτυπία του Αρίσταρχου, όμως, συνίσταται στο ότι τοπο-

θέτησε τον ήλιο στο κέντρο ολόκληρου του συστήματος.

Ο Αρίσταρχος φαίνεται ότι πρότεινε το ηλιοκεντρικό σύστημα ως μαθηματική υπόθεση. Αυτό προκύπτει τόσο από την επανειλημμένη χρήση του ρήματος «υποθέτει» στο παραπάνω απόσπασμα του Αρχιμήδη όσο και από την αναφορά του Πλούταρχου (ο οποίος γράφει τρεις αιώνες αργότερα), σύμφωνα με την οποία η ιδέα «της περιστροφής και της περιφοράς» της γης υποστηρίχθηκε από τον Αρίσταρχο και το Σέλευκο από τη Σελεύκεια (μέσα 2ου π.Χ. αι.), «ο πρώτος παρουσιάζοντάς την σαν υπόθεση, ο δεύτερος διατυπώνοντάς τη ως βεβαιότητα».

Η ηλιοκεντρική θεωρία, όμως, δε βρήκε υποστηρικτές στην αρχαιότητα. Οι δύο μεγαλύτεροι αστρονόμοι του 3ου και του 2ου π.Χ. αι., ο Απολλώνιος και ο Ίππαρχος, την απέρριψαν, διατηρώντας το γεωκεντρικό δόγμα. Γιατί, όμως, η ηλιοκεντρική θεωρία δεν έγινε αποδεκτή στην αρχαιότητα; Μπορούμε να κάνουμε διάφορες ιστορικές υποθέσεις γι' αυτό. Πρώτα πρώτα, δεν ήταν συμβατή με τη δεσπόζουσα αριστοτελική φυσική και πιο συγκεκριμένα με τη διδασκαλία περί φυσικών κινήσεων και φυσικών τόπων. Ακόμη, θα μπορούσαν να διατυπωθούν εναντίον της πολλά αντεπιχειρήματα με βάση απλές καθημερινές παρατηρήσεις (η ταχεία περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της συνδυαζόμενη με την κίνησή της γύρω από τον ήλιο θα είχαν εμφανή αποτελέσματα στην κίνηση των σωμάτων στον αέρα - π.χ., ένα βέλος θα διέγραφε μεγαλύτερη απόσταση, όταν εκτοξευόταν προς την ανατολή παρά προς τη δύση κτλ.). Τέλος, για τους περισσότερους Έλληνες η ιδέα ότι η γη ήταν ακίνητη στο κέντρο του κόσμου δεν ήταν απλώς μια κοινή παραδοχή, αλλά και θρησκευτική πεποίθηση που αντανακλούσε την πίστη τους στον ιερό χαρακτήρα της γης. Υπήρχαν, επομένως, και θρησκευτικοί λόγοι που εμπόδιζαν την αποδοχή της ηλιοκεντρικής υπόθεσης. Για όλους αυτούς τους λόγους η θεωρία του Αρίσταρχου δεν άσκησε ουσιαστικά καμία επίδραση στην αρχαιότητα.

5.2.2 Το μοντέλο επικύκλου-φέροντος κύκλου και οι παραλλαγές του

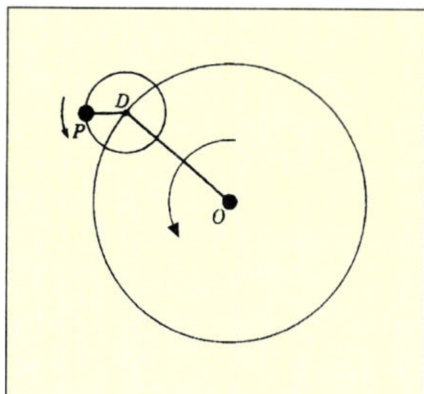
Το μαθηματικό μοντέλο που διαδέχθηκε τον 3ο π.Χ. αι. εκείνο των ομόκεντρων σφαιρών του Ευδόξου ήταν το μοντέλο *επικύκλου-φέροντος* κύκλου με τις διάφορες παραλλαγές του. Η εισαγωγή του αποδίδεται στον Απολλώνιο και τα χαρακτηριστικά του μελετήθηκαν τόσο από τον ίδιο όσο και από τον Ίππαρχο τον επόμενο αιώνα. Το επιστέγασμα των εργασιών των δύο αυτών μαθηματικών ήταν η *Μαθηματική σύνταξις* (αναφέρεται συχνά και ως *Μεγίστη* ή με την αραβική παραφθορά *Αλμαγέστη*), το αριστούργημα της αρχαίας αστρονομίας, που έγραψε στα μέσα του 2ου μ.Χ. αι. ο Κλαύδιος Πτολεμαίος και έπαιξε στην ιστορία της μαθηματικής αστρονομίας τον ίδιο ρόλο που έπαιξαν τα *Στοιχεία* του Ευκλείδη στην



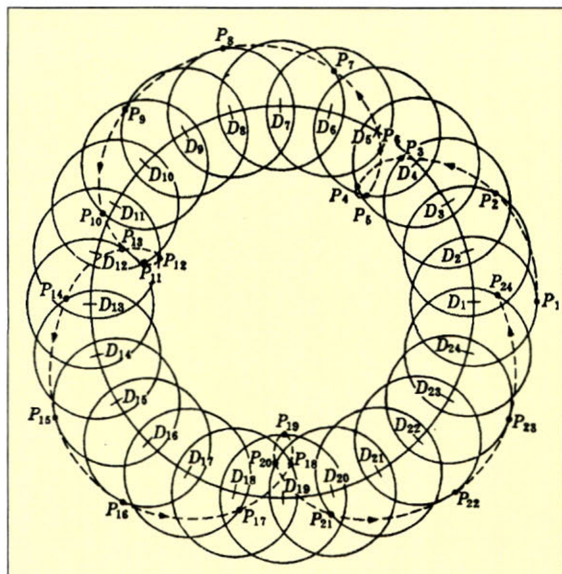
ιστορία της γεωμετρίας.

Το νέο μοντέλο σεβόταν τις δύο βασικές υποθέσεις της ελληνικής αστρονομίας, δηλαδή τη γεωκεντρική υπόθεση και την υπόθεση της ομαλής κυκλικής κίνησης, και είχε το σημαντικό πλεονέκτημα ότι μπορούσε να περιγράψει γεωμετρικά με πολύ μεγάλη οικονομία ένα μεγάλο αριθμό φαινομένων που σχετίζονται με την ανώμαλη κίνηση των πλανητών. Γρήγορα, λοιπόν, εκτόπισε το προηγούμενο μοντέλο του Ευδόξου.

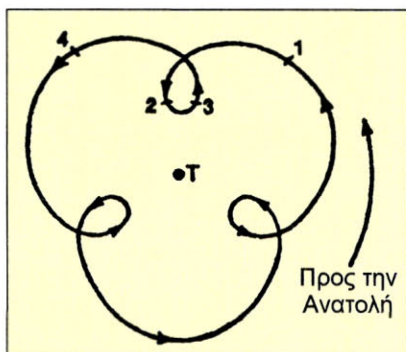
Στην απλούστερη μορφή του, ο γεωμετρικός μηχανισμός στον οποίο βασίζεται η νέα πλανητική θεωρία περιλαμβάνει ένα μικρό κύκλο (επίκυκλο), ο οποίος περιστρέφεται ομαλά γύρω από ένα σημείο που βρίσκεται επάνω στην περιφέρεια ενός δεύτερου περιστρεφόμενου κύκλου (φέροντα κύκλου). Ο πλανήτης P είναι τοποθετημένος επάνω στον επίκυκλο ενώ το κέντρο του φέροντος κύκλου συμπίπτει με το κέντρο της γης (βλ. σχήμα).

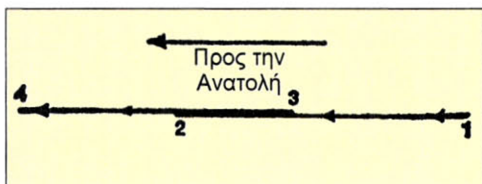


Ας δούμε τώρα πώς με το μηχανισμό αυτό εξηγείται η «ίδια» κίνηση των πλανητών. Ας υποθέσουμε, λοιπόν, ότι ο φέρων κύκλος συμπληρώνει μία περιστροφή σε ένα χρόνο και ότι στο ίδιο διάστημα ο επίκυκλος συμπληρώνει ακριβώς τρεις περιστροφές γύρω από το κινητό κέντρο του, περιστρεφόμενος με την ίδια φορά. Η κίνηση του πλανήτη είναι το αποτέλεσμα της σύνθεσης των κινήσεων των δύο κύκλων και έχει μια μορφή σαν αυτήν που παριστάνεται με τη διακεκομμένη γραμμή στο σχήμα της επόμενης σελίδας (πάνω αριστερά).



Το σχήμα που ακολουθεί δείχνει την κίνηση του πλανήτη, όταν διαγράφει ένα «βρόγχο», όπως φαίνεται από έναν επίγειο παρατηρητή.



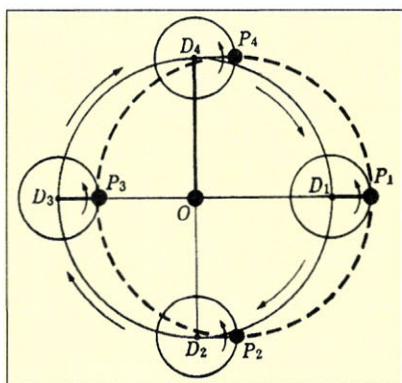


Ο παρατηρητής δε βλέπει το «βρόγχο», ο οποίος βρίσκεται στο επίπεδο της εκλειπτικής. Αυτό που βλέπει είναι οι διαδοχικές θέσεις 1, 2, 3 και 4 του πλανήτη επάνω στη γραμμή της εκλειπτικής.

Με κατάλληλη επιλογή των διαφόρων παραμέτρων του (ακτίνες και ταχύτητες περιστροφής των δύο κύκλων, αριθμός περιστροφών του επικύκλου σε μια περίοδο, φορά περιστροφής κτλ.), το μοντέλο επικύκλου-φέροντος κύκλου μπορεί να περιγράψει ικανοποιητικά τη φαινόμενη κίνηση κάθε πλανήτη κατά μήκος του ζωδιακού. Επιπλέον, είναι πολύ πιο οικονομικό από το ευδόξειο μοντέλο και, τέλος, έχει το πλεονέκτημα ότι εξηγεί τη μεταβολή της φαινομένης λαμπρότητας των πλανητών με τη μεταβολή της απόστασής τους από τη γη. Οι λόγοι αυτοί ήταν αρκετοί, για να εξασφαλίσουν τη νίκη του νέου μοντέλου επάνω στο παλαιό.

Το μοντέλο επικύκλου-φέροντος κύκλου στην απλή μορφή του που περιγράψαμε προηγουμένως, δεν αρκούσε να περιγράψει όλες τις λεπτομέρειες της φαινομένης κίνησης των πλανητών. Γι' αυτό, κατά τη διάρκεια των 18 αιώνων που μεσολάβη-

Η Μεγίστη μαθηματική σύνταξις *του Κλαύδιου Πτολεμαίου.*
Ελληνικό χειρόγραφο του 9ου αιώνα.

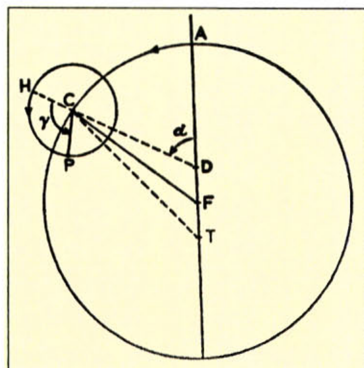


σαν από τον Απολλώνιο ως την εμφάνιση του *De Revolutionibus orbium coelestium* (1543) του Κοπέρνικου, οι αστρονόμοι επεξεργάστηκαν ένα σύνολο δευτερευουσών γεωμετρικών τροποποιήσεων του μοντέλου, προκειμένου να αποδίδονται με μεγαλύτερη ακρίβεια οι ανωμαλίες της κίνησης των διαφόρων πλανητών. Η πρώτη τροποποίηση ήταν το μοντέλο του *έκκεντρου κύκλου*, σύμφωνα με το οποίο ο πλανήτης κινείται ομαλά στην περιφέρεια ενός κύκλου, το κέντρο του οποίου, όμως, δε συμπίπτει με τη γη (βλ. σχήμα αριστερά).

Το μοντέλο του έκκεντρου κύκλου εισήχθη και αυτό από τον Απολλώνιο, ο οποίος μάλιστα απέδειξε την ισοδυναμία του με το μοντέλο επικύκλου-φέροντος κύκλου.

Άλλες τροποποιήσεις των δύο αυτών μοντέλων, μπορούσαν να προκύψουν αν θε-

ωρούσε κανείς, π.χ., ότι ο φέρων κύκλος στο σύστημα επικύκλου-φέροντος είναι έκκεντρος σε σχέση προς τη γη ή ακόμη ότι το κέντρο του δεν είναι σταθερό, αλλά κινείται σε ένα μικρό κύκλο με κέντρο τη γη. Όλα αυτά τα μοντέλα περιγράφονται λεπτομερώς από τον Πτολεμαίο στη *Μεγίστη* και εφαρμόζονται κατά περίπτωση για την εξήγηση της κίνησης κάθε πλανήτη ξεχωριστά. Η πιο σημαντική καινοτομία, όμως, που επέφερε ο Πτολεμαίος, είναι η επινόηση του «εξισωτή». Ο «εξισωτής» είναι ένα σημείο D, το οποίο δε συμπίπτει ούτε με το γεωμετρικό κέντρο F του φέροντος κύκλου ούτε με τη γη (T), αλλά ορίζεται με βάση την ιδιότητα: DF = FT. Η ταχύτητα περιστροφής του φέροντος κύκλου είναι σταθερή όχι ως προς το κέντρο F ούτε ως προς τη γη T αλλά ως προς τον εξισωτή D.



Η εισαγωγή του «εξισωτή» είχε σκοπό να χαλαρώσει την απαίτηση της ομαλής κίνησης και, έτσι, να εξηγήσει με μεγαλύτερη ακρίβεια τις παρατηρούμενες μεταβολές της ταχύτητας των πλανητών. Η ασθενέστερη μορφή ομαλής κίνησης που εισήγαγε ο Πτολεμαίος αποτέλεσε σημείο τριβής στη διάρκεια του Μεσαίωνα και δέχθηκε κριτική ακόμη και από τον ίδιο τον Κοπέρνικο. Ωστόσο, επέτρεψε στον Πτολεμαίο να ολοκληρώσει την επεξεργασία ενός πλανητικού μοντέλου, οι υπολογιστικές δυνατότητες του οποίου υπερνίκησαν τις όποιες επιφυλάξεις εγείρονταν από την απαίτηση μιας ισχυρότερης μορφής ομαλότητας.

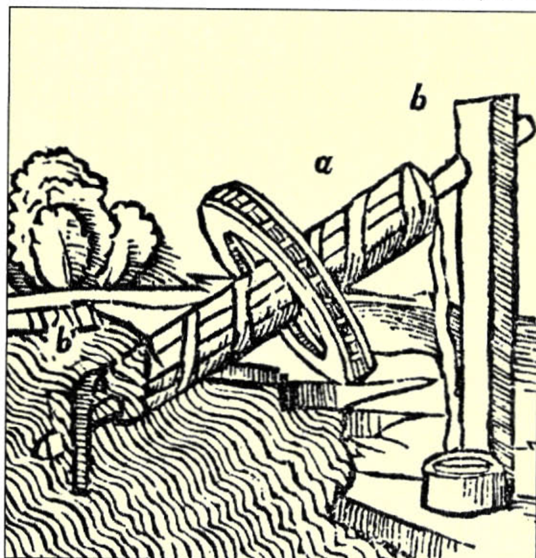
5.3 Οι μηχανικοί της σχολής της Αλεξάνδρειας

Στην ως τώρα αφήγηση της ιστορίας της ελληνικής επιστήμης δεν έχουμε αναφερθεί καθόλου στο θέμα των πρακτικών εφαρμογών της επιστημονικής γνώσης. Όμως το θέμα της αξιοποίησης των επιστημονικών γνώσεων για την επίλυση προβλημάτων της καθημερινής ζωής, για την κατασκευή πολεμικών μηχανών και για τη δημιουργία μηχανισμών λατρευτικού ή ψυχαγωγικού χαρακτήρα, εμφανίζεται από πολύ νωρίς. Ήδη τον 6ο π.Χ. αι. ο αρχιτέκτονας Ευπαλίνος από τα Μέγαρα κατασκεύασε στη Σάμο ένα υδραγωγείο, διορύσσοντας τον ασβεστόλιθο του λόφου Κάστρο ταυτόχρονα και από τις δύο πλευρές· οι εργάτες, προσεγγίζοντας από τις δύο κατευθύνσεις συναντήθηκαν περίπου στο μέσον με ένα σφάλμα 30 ποδών οριζοντίως και 10 ποδών καθέτως. Ήταν ασφαλώς ένα εξαιρετικό τεχνικό επίτευγμα για εκείνη την εποχή. Στους αιώνες που ακολούθησαν, ο ελληνικός πολιτισμός κατέκτησε ένα υψηλό επίπεδο τεχνικών δυνατοτήτων, που έφτασαν στο απόγειό τους κα-

τά την ελληνιστική περίοδο. Από τους πολλούς μηχανικούς που διακρίθηκαν για τα επιτεύγματά τους σε αυτό το διάστημα εμείς περιοριζόμαστε εδώ να μνημονεύσουμε τα ονόματα των κορυφαίων εκπροσώπων της αλεξανδρινής σχολής των μηχανικών, δηλαδή του Κτησίβιου (άκμασε γύρω στο 270 π.Χ.), του Φίλωνα από το Βυζάντιο (περ. 200 π.Χ.), του Βιτρούβιου (περ. 25 π.Χ) και, τέλος, του Ήρωνα (περ. 60 μ.Χ.), το έργο του οποίου είναι το επιστέγασμα της αλεξανδρινής μηχανικής και αποτελεί συγχρόνως μια αξιοσημείωτη σύνθεση των επιτευγμάτων των προγενέστερων μηχανικών.

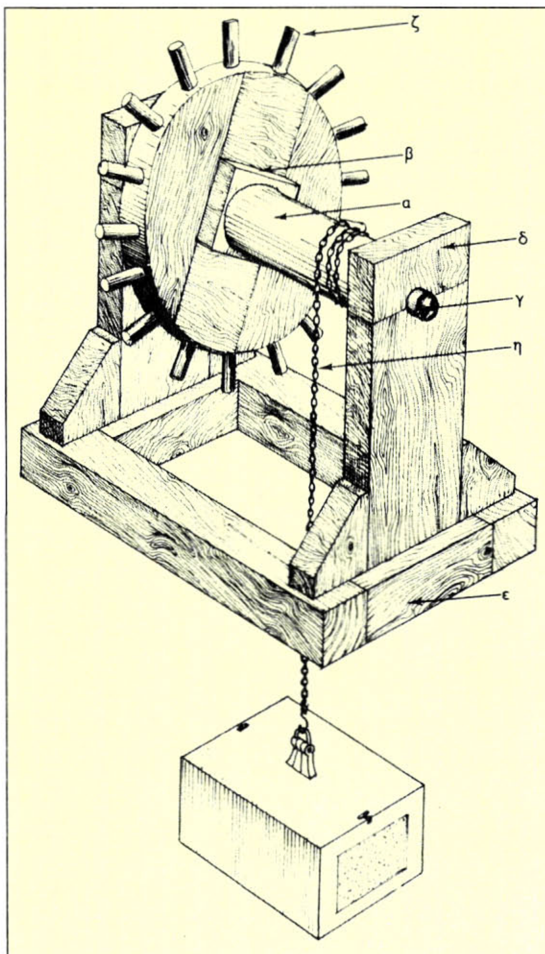
Μία από τις κύριες ασχολίες των μηχανικών στην αρχαιότητα ήταν η κατασκευή πολεμικών μηχανών. Ο τομέας αυτός έχει να επιδείξει σημαντική πρόοδο ήδη από τον 4ο π.Χ. αι. Ο Μέγας Αλέξανδρος, για παράδειγμα, χρησιμοποίησε σε μεγάλη κλίμακα βλητικά μηχανήματα στις εκστρατείες του. Η εξέλιξη αυτών των όπλων διήλθε τρία στάδια, από το πρωτόγονο τόξο στους τεράστιους καταπέλτες και στη συνέχεια στις βαλλίστρες, όπλα ικανά να εκσφενδονίζουν ακόντια ή μεγάλες πέτρες σε μακρινές αποστάσεις. Η σημαντική αυτή πρόοδος στα εκσφενδονιστικά μηχανήματα συνδυάστηκε με βαθιές αλλαγές στην τέχνη του πολέμου, που πέρασε από την κλίμακα του ανθρώπου στην κλίμακα των μηχανών, με όλο το οπλοστάσιο των γνωστών πολιορκητικών μηχανών με τις οποίες τα στρατεύματα εφορμούσαν στα τείχη των πόλεων: κριούς, καταπέλτες, χελώνες, τρύπανα. Ο Ήρων έγραψε δύο πραγματείες με αντικείμενο τις πολεμικές μηχανές: τα *Βελοποιϊκά* και τη φερόμενη υπό τον τίτλο *Χειροβαλλίστρας κατασκευή*. Σ' αυτές περιγράφει λεπτομερώς το σύνολο των πολεμικών μηχανών που αποτελούσαν στην εποχή του το αλεξανδρινό τεχνικό σώμα, ενώ η πρωτότυπη συνεισφορά του έγκειται στη χρησιμοποίηση μετάλλου για την κατασκευή της φορητής χειροβαλλίστρας, καινοτομία που επέτρεψε να μειωθούν σημαντικά οι διαστάσεις της χωρίς να μειωθεί παράλληλα η δύναμη βολής.

Η εφαρμογή της μηχανικής στην πολεμική τέχνη είχε, φυσικά, **ωφελιμιστικό χαρακτήρα**. Όμως, η εφευρετικότητα των ελλήνων μηχανικών δεν περιορίστηκε μόνο στην εφαρ-



Ο ατέρμων κοχλίας εφευρέθηκε από τον Αρχιμήδη και χρησιμοποιήθηκε για την άντληση υδάτων.

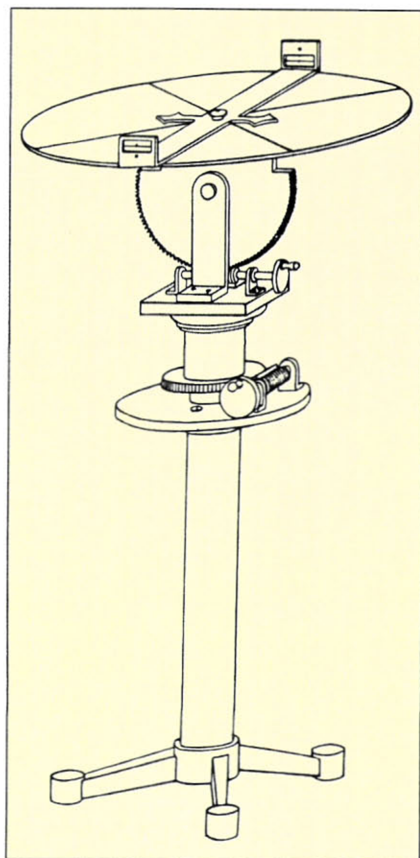
Το βαρούλκο ήταν μια από τις μηχανικές κατασκευές που χρησιμοποιούσαν οι αρχαίοι για να ανυψώνουν βάρη. Όπως φαίνεται από την αναπαράσταση, αποτελούνταν από ένα χοντρό κυλινδρικό δοκάρι (α) το οποίο στο σημείο που τοποθετούταν ο τροχός είχε τετραγωνικό σχήμα (β). Το δοκάρι τελείωνε στα άκρα του σε δύο χάλκινα βύσματα (γ) τα οποία μπορούσαν να περιστρέφονται στις τρύπες ενός πλαισίου (δ), στερεωμένου σε γερά σε μια βάση (ε). Με τη βοήθεια των ακτίνων (ζ) οι εργάτες γύριζαν τον τροχό ώστε η αλυσίδα (η) να τυλίγεται γύρω από το δοκάρι και έτσι να ανυψώνεται το βάρος με σημαντική οικονομία δύναμης.



μογή της μηχανικής στην πολεμική τέχνη· στράφηκε και σε άλλες περιοχές, όπως, για παράδειγμα, στην κατασκευή συσκευών που αποσκοπούσαν στην επίλυση πρακτικών αναγκών της καθημερινής ζωής. Έως τον 4ο π.Χ. αι. είχαν εφευρεθεί οι τέσσερις από τις πέντε απλές μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν ευρέως στην αρχαιότητα για πρακτικούς σκοπούς, δηλαδή ο *μοχλός*, η *σφήνα*, το *πολύσπαστο* και το *μαγκάνι* (ἄξων ἐν τῷ περιτροχίῳ) ενώ τον 3ο π.Χ. αι. εφευρέθηκε ο *ατέρμων κοχλίας*. (Κατά την παράδοση ο *κοχλίας* εφευρέθηκε από τον ίδιο τον Αρχιμήδη και χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την άντληση υδάτων, π.χ. από ορυχεία, ενώ σε μια δεύτερη εφαρμογή του χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή πιεστηρίων.) Από τη συνδυασμένη χρήση αυτών των βασικών μηχανών κατασκευάστηκαν άλλες πιο σύνθετες όπως είναι λ.χ. διάφορα ανυψωτικά μηχανήματα ή το οδόμετρο, μια συσκευή που υπολόγιζε την απόσταση την οποία διάνυε ένα όχημα.

Άλλες χρήσιμες συσκευές κατασκευάστηκαν με βάση αρχές της υδραυλικής. Τέτοιες συσκευές ήταν οι αναρροφητικές και καταθλιπτικές αντλίες και τα υδραυλικά ρολόγια.

Μια άλλη πλευρά του έργου των αρχαίων μηχανικών ήταν η κατασκευή **αυτομά-**



Αναπαράσταση της διόπτρας του Ήρωνα του Αλεξανδρινού (περ. 60 μ.Χ.), όπως ανακατασκευάστηκε από τον γερμανό ιστορικό της επιστήμης Hermann Schöne, σύμφωνα με την περιγραφή του ίδιου του Ήρωνα. Η διόπτρα ήταν ένας οριζόντιος κανόνας με δύο στόχαστρα, ο οποίος ήταν συναρμοσμένος με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να περιστρέφεται. Χρησιμοποιούνταν για τη μέτρηση γωνιών, την εύρεση των υψομέτρων αλλά και για αστρονομικές μετρήσεις.

των, δηλαδή μηχανισμών ψυχαγωγικού χαρακτήρα (ένα είδος παιχνιδιών) που λειτουργούσαν με προγραμματισμό και αυτορρύθμιση και αποσκοπούσαν στο να προκαλέσουν τον εντυπωσιασμό και την έκπληξη του θεατή. Στα έργα του *Πνευματικά και Περί αυτοματοποιητικής* ο Ήρων περιγράφει πολλούς τέτοιους μηχανισμούς, που εντυπωσιάζουν τόσο με τον αριθμό των υδραυλικών και μηχανικών στοιχείων που εμπεριέχουν όσο και με τις αρχές που διέπουν την κίνησή τους.

Αν μελετήσει κανείς τα κείμενα των αρχαίων για τη μηχανική, γράφει ο ιστορικός της αρχαίας ελληνικής επιστήμης G.E.R. Lloyd, τρία πράγματα θα του προκαλέσουν ιδιαίτερη εντύπωση: πρώτο, οι τρόποι με τους οποίους οι αρχαίοι επινοούν νέες εφαρμογές, ξεκινώντας από έναν περιορισμένο αριθμό απλών μηχανικών αρχών· δεύτερο, το ενδιαφέρον που επιδείκνυαν για τις ίδιες τις αρχές, για τις θεωρητικές δηλαδή πλευρές της μηχανικής· και τρίτο, ότι είχαν συνειδητοποιήσει πλήρως πως οι σκοποί που εξυπηρετούσαν οι εφευρέσεις τους ήταν δύο ειδών: η πρακτική χρησιμότητα από τη μια πλευρά και η ψυχαγωγία και η διασκέδαση από την άλλη. Η αρχαία τεχνολογία έχει να επιδείξει αξιόλογες προόδους και στις δύο αυτές πλευρές· δεν είχε μείνει στάσιμη όπως πολλοί πιστεύουν. Ωστόσο, είναι αλήθεια ότι ο κατάλογος των μηχανημάτων που επινοήθηκαν για να χρησιμεύσουν στην επίλυση καθημερινών αναγκών ήταν πολύ περιορισμένος και η χρήση τους δεν ήταν ευρείας κλίμακας.

Ερωτήσεις

1) Να αναπτύξετε τα βασικά χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν τις φυσικές θεωρίες που διατύπωσαν οι Ίωνες φυσικοί φιλόσοφοι από τις αντίστοιχες θεωρίες που είχαν διατυπώσει προηγούμενοι στοχαστές.

2) Να αναπτύξτε το θέμα της συμβολής του Θαλή (και γενικότερα των Μιλήσιων φυσικών φιλοσόφων) στην ιστορία της γεωμετρίας.

3) Να περιγράψετε με συντομία τα τρία κλασικά προβλήματα της ελληνικής γεωμετρίας και τις προσπάθειες που έγιναν στην αρχαιότητα για την επίλυσή τους. Ποια η επίδραση που άσκησαν τα προβλήματα αυτά στην εξέλιξη των μαθηματικών;

4) Ποιος ο ρόλος του Πλάτωνα στην ιστορία της αρχαίας ελληνικής αστρονομίας;

5) Ποιες οι αρετές και ποια τα μειονεκτήματα (σε σχέση με τις απαιτήσεις της εποχής) του μοντέλου των ομόκεντρων σφαιρών, που επικράτησε στην ελληνική αστρονομία τον 4ο π.Χ. αιώνα;

6) Να σχολιάσετε την αριστοτελική θεωρία της κίνησης με βάση τις γνώσεις της φυσικής που έχετε αποκτήσει στις προηγούμενες τάξεις του Λυκείου.

7) Να διαβάσετε προσεκτικά τα τρία πρώτα αιτήματα από τα Στοιχεία *του Ευκλείδη και να απαντήσετε στο ερώτημα αν περιμένετε να βρείτε μέσα στο έργο αυτό οποιαδήποτε διαπραγμάτευση των τριών κλασικών προβλημάτων της ελληνικής γεωμετρίας. Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.*

8) Να διαβάσετε προσεκτικά τα δύο αποσπάσματα που ακολουθούν από την πραγματεία Περί των μηχανικών θεωρημάτων προς Ερατοσθένη έφοδος *του Αρχιμήδη και να σχολιάσετε τη διαφορά ευρετικών και αποδεικτικών μεθόδων:*

- *«Διότι και μερικά απ' αυτά που βρήκα προηγουμένως με τη μηχανική αποδείχθηκαν ύστερα γεωμετρικά, μιας και η εξέταση με αυτόν τον τρόπο [δηλ. με τη μηχανική] δεν αποτελεί απόδειξη. Γιατί είναι πιο εύκολο να συναγάγει κανείς την απόδειξη, αφού έχει βρει με τη μέθοδο αυτή κάποια γνώση των ζητημάτων, παρά να την αναζητά χωρίς να γνωρίζει προηγουμένως τίποτε».*
- *«Ήθελα, αφού έγραψα τη μέθοδο, να τη δημοσιεύσω, αφ' ενός γιατί έχω μιλήσει προηγουμένως γι' αυτήν [σημ.: στην πραγματεία* Τετραγωνισμός παραβολής*] και δεν θέλω να φανώ σε ορισμένους ότι εκθέτω κενούς λόγους, και αφ' ετέρου γιατί είμαι πεπεισμένος ότι προσφέρω όχι μικρή υπηρεσία στα μαθηματικά· διότι νομίζω ότι μερικοί από τους συγχρόνους μου ή τους μεταγενέστε-*

ρους θα βρουν και άλλα θεωρήματα με την υποδειχθείσα μέθοδο, τα οποία δεν έχω σκεφθεί ακόμα».

9) Στην ενότητα 5.1.3 αναφέρεται ότι ο Απολλώνιος μετασχημάτισε ριζικά τη θεωρία περί κωνικών τομών που είχαν επεξεργαστεί οι προγενέστεροι μαθηματικοί. Προσπαθήστε να δικαιολογήσετε αυτόν τον ισχυρισμό εξετάζοντας τον ορισμό του κώνου, όπως δίνεται κατ' αρχάς από τον Ευκλείδη και στη συνέχεια όπως τον μετασχημάτισε ο Απολλώνιος.

• *Ορισμός του Ευκλείδη: Κώνος είναι το σχήμα που περιλαμβάνεται όταν ορθογώνιο τρίγωνο περιστραφεί γύρω από μία εκ των καθέτων πλευρών, ενώ αυτή μένει ακίνητη, και επανέλθει στην αρχική του θέση. Και αν μεν η κάθετη που μένει ακίνητη είναι ίση προς την άλλη κάθετη, η οποία εκτελεί την περιστροφή, ο κώνος θα είναι ορθογώνιος, εάν δε μικρότερη, θα είναι αμβλυγώνιος, εάν δε μεγαλύτερη, οξυγώνιος.*

• *Ορισμός του Απολλωνίου: Εάν από ένα σημείο αχθεί ευθεία προς την περιφέρεια κύκλου, ο οποίος δε βρίσκεται στο ίδιο επίπεδο με το σημείο, και προεκταθεί αυτή [η ευθεία] και προς τα δύο μέρη, και ενώ το σημείο μένει σταθερό, η ευθεία αφού περιστραφεί περί την περιφέρεια του κύκλου αποκατασταθεί πάλι στην αρχική της θέση, την επιφάνεια που γράφεται από την ευθεία (η οποία αποτελείται από δύο επιφάνειες που συνδέονται μεταξύ τους κατά την κορυφή, η καθεμιά από τις οποίες αυξάνεται επ' άπειρον, όταν η γράφουσα ευθεία προεκτείνεται επ' άπειρον), την καλώ κωνική επιφάνεια, κορυφή δε [καλώ] το σταθερό σημείο, άξονα δε [καλώ] την ευθεία που διέρχεται από το σημείο και το κέντρο του κύκλου. Κώνο δε καλώ το σχήμα που περιέχεται από τον κύκλο και την κωνική επιφάνεια την μεταξύ της κορυφής και της περιφέρειας του κύκλου.*

10) Ο Αρίσταρχος ο Σάμιος χαρακτηρίζεται συχνά στη βιβλιογραφία ως «ο αρχαίος Κοπέρνικος» ή ως «πρόδρομος του Κοπέρνικου». Σε τι οφείλονται αυτοί οι χαρακτηρισμοί; Για ποιους λόγους η θεωρία που διατύπωσε ο Αρίσταρχος δεν έγινε αποδεκτή στην αρχαιότητα;

11) Ο Απολλώνιος (μαζί με τον Ίππαρχο) εισηγήθηκε το μοντέλο των επικύκλων και των φερόντων κύκλων για τη μαθηματική περιγραφή της φαινομένης κίνησης των πλανητών. Γνωρίζουμε, όμως, ότι ο Απολλώνιος ήταν ο μαθηματικός εκείνος που μελέτησε περισσότερο από κάθε άλλον στην αρχαιότητα τη θεωρία των κωνικών τομών. Πώς θα μπορούσαμε να εξηγήσουμε το γεγονός ότι απέφυγε να χρησιμοποιήσει τις κωνικές τομές για την περιγραφή των πλανητικών κινήσεων, επιμένοντας στη χρήση των κύκλων και των ομαλών κυκλικών κινήσεων;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΣΤΗΝ ΥΣΤΕΡΗ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΟ ΜΕΣΑΙΩΝΑ

1 Η ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΣΤΗΝ ΥΣΤΕΡΗ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ

1.1 Η παρακμή της αρχαίας ελληνικής επιστήμης

Η ιστορία της ελληνικής επιστήμης μετά τον 3ο μ.Χ. αι. χαρακτηρίζεται από μια διαρκώς φθίνουσα παραγωγή νέων ιδεών και μια παράλληλη διοχέτευση της επιστημονικής δραστηριότητας στη συγγραφή σχολιαστικών υπομνημάτων και εξηγήσεων στα μεγάλα έργα του παρελθόντος και στη σύνταξη εκλαϊκευτικών συμπιλημάτων και επιτομών. Η δημιουργικότητα και το κριτικό πνεύμα που συνοδεύουν καμιά φορά τα έργα αυτά ή η εμφάνιση από καιρού εις καιρόν κάποιου επιγόνου που μπορεί να παραβληθεί με τις μεγάλες μορφές του παρελθόντος δεν αλλάζουν τη γενική εκτίμηση: η ελληνική επιστήμη περνάει πια στη φάση που συνοψίζεται, ανθολογείται και σχολιάζεται, για να περάσει αργότερα στους Άραβες και μέσω αυτών στη Δυτική Ευρώπη.

Ποια είναι, όμως, τα αίτια που οδήγησαν σ' αυτή την εξέλιξη; Το να παρατηρήσει κανείς ότι δεν εμφανίζονταν πλέον μορφές του αναστήματος του Ιπποκράτη, του Ευδόξου, του Αριστοτέλη, του Αρχιμήδη, του Απολλώνιου ή του Πτολεμαίου είναι μάλλον μια στατιστική παρατήρηση και δεν απαντά στο ερώτημα. Από την άλλη πλευρά, οι σημαντικές πολιτικές, κοινωνικές και οικονομικές αλλαγές, που έλαβαν χώρα στον ευρύτερο ελληνιστικό κόσμο που είχε περάσει υπό ρωμαϊκή κατοχή (εξουθενωτικοί πόλεμοι, παρακμή της αγροτικής οικονομίας, διαίρεση της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, πτώση της Ρώμης και κατάρρευση του δυτικού τμήματος της Αυτοκρατορίας, αραβικές κατακτήσεις κτλ.) είναι ασφαλώς παράγοντες που δεν πρέπει να αγνοηθούν. Πρέπει, όμως, να παρατηρήσουμε ότι η αρχαία επιστήμη ήταν ανέκαθεν έργο λίγων ατόμων και η επίκληση τέτοιων γενικής φύσης παραγόντων δεν είναι αρκετή προκειμένου να εξηγήσει συμπεριφορές και δραστηριότητες ολιγομελών ομάδων ή ξεχωριστών προσώπων. Πιο γόνιμο είναι να αναζητήσουμε την απάντηση στο παραπάνω ερώτημα αφ' ενός στη **διακοπή της προφορικής παράδοσης** της αρχαίας επιστήμης και αφ' ετέρου στο ιδεολογικό υπόβαθρο των **φιλοσοφι-**

κών και των θρησκευτικών κινημάτων που αναπτύσσονται την περίοδο αυτή.

Μια πλευρά της αρχαίας ελληνικής επιστήμης στην οποία ως τώρα δε δώσαμε προσοχή είναι η πλευρά της διδασκαλίας και της μετάδοσής της μέσα στο χρόνο. Το γεγονός ότι ασχοληθήκαμε μόνο με γραπτές πηγές δεν πρέπει να μας κάνει να παραβλέψουμε ότι παράλληλα προς τα κείμενα υπήρχε μια προφορική παράδοση επικοινωνίας και μετάδοσης γνώσεων. Έργα όπως τα *Κωνικά* του Απολλωνίου ή η *Μεγίστη* του Πτολεμαίου, προϊόντα και τα δύο της πιο πρωτοπόρας έρευνας της εποχής τους, δε θα είχαν τόση αξία αν δε συνοδεύονταν από προφορικές εξηγήσεις. Η μελέτη, για παράδειγμα, μιας απόδειξης του Απολλωνίου απαιτεί κόπο και προσήλωση. Η εντελώς ρητορική μορφή διατύπωσης την καθιστά μακροσκελή, ενώ κάθε ευθύγραμμο τμήμα υποδεικνύεται με δύο γράμματα τα οποία πρέπει κάθε φορά να εντοπίζονται στο σχήμα. Το κυριότερο, όμως, είναι ότι οι αποδείξεις δεν αποκαλύπτουν το κίνητρο, τον τρόπο του σκέπτεσθαι του συγγραφέα. Όλα αυτά δεν προκαλούν πρόβλημα όσο η ερευνητική παράδοση συνοδεύεται από την εκπαιδευτική δραστηριότητα. Σε μια προφορική εξήγηση τα ευθύγραμμα τμήματα μπορούν να υποδειχθούν με τα δάκτυλα. Μπορεί να τονίσει κανείς τα ουσιώδη και να επισημάνει πώς βρέθηκε η απόδειξη. Αυτά, όμως, απουσιάζουν από τη γραπτή διατύπωση κατά το αυστηρό κλασικό πρότυπο. Οι αποδείξεις είναι λογικά στέρεες, αλλά δεν αποκαλύπτουν την έμπνευση, την



Ο Πυθαγόρας και ο Βοήθιος. Εικόνα από ένα βιβλίο αριθμητικής του 1504. Ο Πυθαγόρας, δεξιά, κάθεται μπροστά από έναν άβακα. Ο Βοήθιος, αριστερά, κάθεται μπροστά από έναν δίσκο με αραβικά ψηφία, τα οποία, όπως πίστευαν τότε, ήταν δική του εφεύρεση. Πίσω, σε ρόλο κριτή, βρίσκεται η Αριθμητική. Η χολωμένη έκφραση του Πυθαγόρα δείχνει ότι αυτός είναι ο χαμένος.

κατευθυντήρια γραμμή σκέψης. Όσο δεν υπήρχε διακοπή, όσο κάθε γενιά μετέδιδε τις μεθόδους της στην επόμενη, όλα βάδιζαν ομαλά και η επιστήμη ανθούσε. Αλλά αμέσως μόλις εξωτερικές αιτίες επέφεραν τη **διακοπή της προφορικής παράδοσης** και δεν απέμειναν παρά μόνο τα βιβλία, η αφομοίωση του έργου των μεγάλων προδρόμων κατέστη εξαιρετικά δύσκολη και η υπέρβασή τους σχεδόν αδύνατη. Με αυτά τα δεδομένα, μαθηματικοί και ευρυμαθείς λόγιοι, όπως ο Πάππος, ο Πρόκλος, ο Ευτόκιος ή ο Σιμπλίκιος, είχαν ενώπιόν τους, όπως κι εμείς σήμερα, τα κείμενα από το μακρινό παρελθόν, δεν μπορούσαν όμως να αντλήσουν σχεδόν τίποτε από την προφορική παράδοση που τα συνόδευε παλαιότερα. Κατόπιν αυτού, αναδείχθηκε σε σημαντική δραστηριότητα η συγγραφή σχολίων (ποικίλης ποιότητας), τα οποία επεξηγούσαν και ανέπτυσσαν τα ασαφή και σκοτεινά σημεία των κειμένων, παρέθεταν κάθε είδους μαρτυρία που φαινόταν να ρίχνει λίγο φως στο θέμα που πραγματεύονταν, και καμιά φορά πρόσθεταν και κάποιο νέο αποτέλεσμα.

Ας έλθουμε τώρα στο δεύτερο παράγοντα που αναφέραμε πιο πάνω, στην επίδραση δηλαδή των φιλοσοφικών και των θρησκευτικών διδασκαλιών που αναπτύχθηκαν κατά την περίοδο αυτή. Από τον 3ο μ.Χ. αι. και μετά επικράτησε στους κύκλους των λογίων της Αλεξάνδρειας, της Αθήνας και άλλων πόλεων ένα φιλοσοφικό ρεύμα που είναι γνωστό ως *Νεοπλατωνισμός*. Όπως η ίδια η ονομασία του δηλώνει, ως βάση είχε τη φιλοσοφία του Πλάτωνα, μαζί μ' αυτή όμως συμπεριέλαβε και πλήθος άλλων δοξασιών. Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι ο Νεοπλατωνισμός ήταν, κυρίως, ***φιλοσοφία της αποκάλυψης***. Πρέσβευε ότι οι βαθύτερες αλήθειες δεν αποκτώνται μόνο με την εμπειρική έρευνα, με την παρατήρηση και με τον ορθό λόγο, αλλά αποκαλύπτονται από το Θεό. Τα έργα του Πλάτωνα, του Νικομάχου, όλων των σοφών του παρελθόντος, είναι προϊόντα τέτοιων αποκαλύψεων και, επομένως, μέσα σ' αυτά έπρεπε να αναζητηθεί η αλήθεια. Έτσι, η μελέτη, η εμβάθυνση και ο σχολιασμός των έργων του παρελθόντος έγινε σιγά σιγά η οδός για την αναζήτηση της αλήθειας. Η ανεπηρέαστη έρευνα της φύσης και η μαθηματική έρευνα βαθμιαία ατόνησαν.

Την ίδια περίοδο, εξάλλου, ο **Χριστιανισμός** εξελίχθηκε σε σημαντική θρησκευτική δύναμη και, από τον 4ο μ.Χ. αι., σε επίσημη κρατική θρησκεία του ανατολικού τμήματος της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας. Ο ρόλος που έπαιξε η νέα θρησκεία στην ιστορία της επιστήμης αποτέλεσε αντικείμενο διχογνωμιών μεταξύ των ιστορικών, και οι ακραίες θέσεις που διατυπώθηκαν είναι από τη μια πλευρά ότι αποτέλεσε εμπόδιο στην ανάπτυξη της επιστήμης και από την άλλη ότι δεν άσκησε την παραμικρή αρνητική επίδραση στην εξέλιξη της επιστημονικής σκέψης. Το πρόβλημα είναι εξαιρετικά περίπλοκο και η ολοκληρωμένη διερεύνησή του υπερβαίνει τις απαιτήσεις αυτού του βιβλίου. Μπορούμε, όμως, να αναφερθούμε σε μερικές γενικές δια-

πιστώσεις σχετικές με το ρόλο της νέας θρησκείας στην εξέλιξη της επιστήμης. Κατά τους πρώτους χριστιανικούς αιώνες δεν υπήρξε ενιαία στάση από την πλευρά της εκκλησίας απέναντι στην αρχαία κληρονομιά. Τα έργα των Αποστολικών Πατέρων, των Απολογητών και των άλλων εκκλησιαστικών συγγραφέων αντικατοπτρίζουν τη σχετική αντιπαλότητα και πνευματική ζύμωση. Πολλοί από αυτούς ενθάρρυναν την κοσμική εκπαίδευση ως αναγκαία προϋπόθεση για τη μελέτη και τη διάδοση της Βίβλου. Ακόμη, η επεξεργασία και η υπεράσπιση της χριστιανικής πίστης έναντι των λόγιων οπαδών άλλων φιλοσοφικών τάσεων (δραστηριότητα που είναι γνωστή ως «απολογητική») τους υποχρέωνε να μελετήσουν τα λογικά εργαλεία που είχε δημιουργήσει η ελληνική φιλοσοφία. Επίσης, είναι γεγονός ότι στους κόλπους των πρώτων χριστιανών συγγραφέων υπήρξαν φωτεινοί στοχαστές, που με την κριτική τους σε πλευρές της αρχαίας επιστημονικής σκέψης συνέβαλαν ώστε να διατηρηθεί ζωντανή η επιστημονική παράδοση σε καιρούς που δεν ήσαν ευνοϊκοί γι' αυτή, ενώ, τέλος, θα πρέπει να τονίσουμε το γεγονός ότι η διάσωση της αρχαίας επιστημονικής κληρονομιάς οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στους μοναχούς της βυζαντινής εποχής.

Όμως αρκετό χώρο αφιερώσαμε στη συζήτηση τη σχετική με την παρακμή της αρχαίας ελληνικής επιστήμης. Ας αλλάξουμε τώρα κλίμα κι ας επιστρέψουμε για λίγο στις αρχές αυτής της περιόδου, για να εξετάσουμε το έργο του τελευταίου εκπροσώπου των μεγάλων μαθηματικών της αρχαιότητας, του Διοφάντου.

1.2 Μια ιδιάζουσα περίπτωση: Τα «Αριθμητικά» του Διοφάντου

Όπως για τους περισσότερους Αρχαίους Έλληνες μαθηματικούς δε γνωρίζουμε με βεβαιότητα πότε ακριβώς έζησε ο Διόφαντος. Από το γεγονός ότι σε ένα έργο του μνημονεύει το μαθηματικό Υψικλή, που έζησε το 2ο π.Χ. αι., ενώ μνημονεύεται για πρώτη φορά από το Θέωνα τον Αλεξανδρινό, που έζησε τον 4ο μ.Χ. αι., συμπεραίνουμε ότι ο Διόφαντος έζησε σε μια εποχή που τοποθετείται κάπου στο διάστημα αυτών των έξι αιώνων. Αυτό μόνο μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα για την εποχή του. Πάντως, υπάρχει μια πληροφορία που παραθέτει ο βυζαντινός λόγιος Μιχαήλ Ψελλός (1018-1078), σύμφωνα με την οποία ο Ανατόλιος (που το 270 μ.Χ. έγινε επίσκοπος Λαοδικείας) είχε αφιερώσει ένα βιβλίο του στο Διόφαντο· εάν η πληροφορία αυτή ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, τότε μπορούμε να εικάσουμε ότι η ακμή του Διοφάντου τοποθετείται στα μέσα του 3ου μ.Χ. αιώνα.

Το πιο σημαντικό έργο του Διοφάντου είναι τα *Αριθμητικά* [*προβλήματα*], αποτελούμενο από δέκα τρία βιβλία από τα οποία σήμερα σώζονται τα δέκα - έξι στο πρωτότυπο ελληνικό κείμενο και τέσσερα σε μια μεσαιωνική αραβική μετάφραση του 9ου αι., που εκπόνησε ο ελληνικής καταγωγής Κουστά Ιμπν Λούκα. Η επίδρα-

ση που άσκησε το έργο αυτό στη γέννηση των νεότερων μαθηματικών από τον François Viète (Φρανσουά Βιέτ), τον René Descartes (Ρενέ Ντεκάρτ) και τους άλλους μαθηματικούς του 17ου αι. είναι πολύ μεγάλη και θα μπορούσαμε να τη συνοψίσουμε επαναλαμβάνοντας τα ακόλουθα λόγια του Γερμανού φιλοσόφου και ιστορικού των μαθηματικών Jacob Klein (Γιάκομπ Κλάιν, 1899-1978): «Η νεότερη άλγεβρα και ο νεότερος φορμαλισμός αναπτύχθηκαν από την άμεση ενασχόληση του Viète με τον Διόφαντο. Οι μεταγενέστεροι συγγραφείς απλώς επεξεργάστηκαν περαιτέρω και λεπτομερέστερα το έργο του (του Viète)». Ας δούμε, όμως, πιο λεπτομερώς σε τι συνίσταται η μεγάλη προσφορά του Διοφάντου.

Στην αρχή του πρώτου βιβλίου των *Αριθμητικών* ο Διόφαντος έχει προτάξει μια Εισαγωγή όπου πραγματεύεται το θέμα της επίλυσης προβλημάτων που ισοδυναμούν με αλγεβρικές εξισώσεις με έναν ή περισσότερους αγνώστους ή με συστήματα εξισώσεων. Η Εισαγωγή αυτή έχει χαρακτηριστεί από πολλούς ιστορικούς των μαθηματικών ως **το αρχαιότερο εγχειρίδιο άλγεβρας** στην ιστορία των μαθηματικών. Ας δούμε πώς τεκμηριώνεται αυτός ο ισχυρισμός.

Πρώτα πρώτα ο Διόφαντος εισάγει μια ειδική ορολογία, καθώς και μια σειρά από συντομογραφίες για την παράσταση των διαδοχικών δυνάμεων του αγνώστου (των «ειδών», όπως λέει ο ίδιος) μέχρι και την έκτη δύναμη. Ο πίνακας που ακολουθεί συνοψίζει τόσο την ορολογία όσο και τις αντίστοιχες συντομογραφίες:

Συντομογραφία	***Ορολογία Διοφάντου***	***Σύγχρονος συμβολισμός***
$\overset{o}{\mathrm{M}}$	*Μονάς*	x^0
ς	*Αριθμός*	x
Δ^{Y}	*Δύναμις*	x^2
K^{Y}	*Κύβος*	x^3
$\Delta^{\mathrm{Y}}\Delta$	*Δυναμοδύναμις*	x^4
$\Delta\mathrm{K}^{\mathrm{Y}}$	*Δυναμόκυβος*	x^5
$\mathrm{K}^{\mathrm{Y}}\mathrm{K}$	*Κυβόκυβος*	x^6

Αν στις παραπάνω συντομογραφίες επισυναφθεί ως εκθέτης ένα σύμβολο που μοιάζει με «χ», τότε δηλώνεται η αντίστοιχη αρνητική δύναμη. Για παράδειγμα, η έκφραση $\Delta^{\mathrm{Y}\chi}$ προφέρεται «δυναμοστόν» και αντιστοιχεί στο $1/x^2$, η $ς^{\chi}$ προφέρεται «αριθμοστόν» και αντιστοιχεί στο $1/x$ και ούτω καθεξής. Οι αριθμητικοί συντελεστές που δηλώνουν το πλήθος κάθε φορά των «ειδών» σε μια αριθμητική σχέση γράφονται με το γνωστό ελληνικό αλφαβητικό σύστημα· σε αντίθεση όμως με τη σημερινή πρακτική οι συντελεστές να προτάσσονται του συμβόλου του αγνώστου, στο Διόφαντο έπονται της συντομογραφίας του εκάστοτε «είδους». Έτσι, το μονώνυμο

$5x^4$, για να χρησιμοποιήσουμε ένα σύγχρονο όρο, γράφεται $\Delta^Y\Delta\ \varepsilon'$, ενώ το $3/x^2$ γράφεται $\Delta^{Y\chi}\ \gamma'$. Με τον τρόπο αυτό ο Διόφαντος μπορεί να γράψει κάθε μονώνυμο αx^m, όπου m ακέραιος αριθμός μεγαλύτερος ή ίσος του - 6 και μικρότερος ή ίσος του + 6.

Η καινοτομία του Διοφάντου, όμως, δε συνίσταται τόσο στην επινόηση των παραπάνω συντομογραφιών. Το κρίσιμο σημείο (που «άφησε εποχή» όπως έγραψε ένας ιστορικός των μαθηματικών τον περασμένο αιώνα) είναι ότι εισάγει τις συντομογραφίες στο λογιστικό μέρος της επιλυτικής διαδικασίας των προβλημάτων· με άλλα λόγια, αναπτύσσει ένα λογισμό με τα «είδη» που δηλώνουν οι συντομογραφίες, επεκτείνοντας με τον τρόπο αυτό το πεδίο εφαρμογής των αριθμητικών πράξεων, ώστε αυτό να περιλαμβάνει όχι μόνο τους αριθμούς αλλά και τα «είδη». Αυτό ακριβώς το στοιχείο είναι που περισσότερο από κάθε άλλο προσδίδει αλγεβρικό χαρακτήρα στο έργο του Διοφάντου. Για να το επιτύχει αυτό, χρησιμοποιεί ένα ειδικό σύμβολο (⋔), που ονομάζεται «λεῖψις», με το οποίο δηλώνει την πράξη της αφαίρεσης μεταξύ «ειδών», ενώ για την πράξη της πρόσθεσης αρκείται στην εν σειρά παράθεση των συντομογραφιών.

Με τον τρόπο αυτό ο Διόφαντος είναι σε θέση να γράψει μια αλγεβρική εξίσωση με έναν άγνωστο, όπως είναι η εξίσωση $x^2 + 2x + 3 = x^3 + 3x - 3x^2 - 1$ στο πρόβλημα VI.17, ως εξής (διευκρινίζεται ότι τα «προστιθέμενα» είδη τοποθετούνται όλα μαζί μπροστά από τα «αφαιρούμενα»):
$\Delta^Y\ \alpha'\ \varsigma\ \beta'\ \overset{o}{M}\ \gamma'$ ἔστιν ἴσος $K^Y\ \alpha'\ \varsigma\ \gamma'$ ⋔ $\Delta^Y\ \gamma'\ \overset{o}{M}\ \alpha'$.

Ο λογισμός με τα «είδη» συμπληρώνεται με τη διατύπωση του κανόνα για τον πολλαπλασιασμό μεταξύ προστιθέμενων και αφαιρούμενων «ειδών«: «Λεῖψις ἐπί λεῖψιν πολλαπλασιασθεῖσα ποιεῖ ὕπαρξιν, λεῖψις δὲ ἐπὶ ὕπαρξιν ποιεῖ λεῖψιν». Ο κανόνας αυτός δεν πρέπει να ερμηνεύεται ως κανόνας των προσήμων για τον πολλαπλασιασμό μεταξύ αρνητικών και θετικών αριθμών· στο αριθμητικό σύμπαν του Διοφάντου, όπως και ολόκληρης της αρχαίας επιστήμης, δεν είχαν θέση οι αρνητικοί αριθμοί. Ο παραπάνω κανόνας εξυπηρετούσε απλώς την εκτέλεση πολλαπλασιασμών της μορφής $(\alpha \pm \beta)(\gamma \pm \delta)$.

	$\Delta^Y\bar{\alpha}$		$\mu^o\ \overline{\iota\varsigma}$ ⋔ $\Delta^Y\bar{\alpha}$
			ςς $\bar{\beta}$ ⋔ $\mu^o\ \delta$
	$\Delta^Y\bar{\delta}\ \mu^o\overline{\iota\varsigma}$ ⋔ ςς $\overline{\iota\varsigma}$	ἴσ.	$\mu^o\ \overline{\iota\varsigma}$ ⋔ $\Delta^Y\bar{\alpha}$
πρ.	$\Delta^Y\bar{\varepsilon}\ \mu^o\ \overline{\iota\varsigma}$	ἴσ.	ςς $\overline{\iota\varsigma}\ \mu^o\ \overline{\iota\varsigma}$
ἀφ.	$\Delta^Y\bar{\varepsilon}$	ἴσ.	ςς $\overline{\iota\varsigma}$
μερ.	$\Delta^Y\bar{\alpha}$	ἴσ.	ςς $\bar{\gamma}\ \varepsilon''$
	ς $\bar{\alpha}$		$\mu^o\ \bar{\gamma}\ \varepsilon''$ ἢ $\overline{\iota\varsigma}\ \varepsilon^\alpha$
ὑπ.	$\overline{\iota\varsigma}\ \varepsilon^\alpha$		$\mu^o\ \bar{\beta}, \bar{\beta}\ \varepsilon^\alpha$ ἢ $\overline{\iota\beta}\ \varepsilon^\alpha\ \mu^o$
	$\overline{\sigma\nu\varsigma}$		$\overline{\rho\mu\delta}$.

Συνοπτική παρουσίαση της επίλυσης του προβλήματος II.8 των Αριθμητικών *του Διοφάντου από το Βυζαντινό σχολιαστή Μάξιμο Πλανούδη.*

Στο τέλος της Εισαγωγής ο Διόφαντος διατυπώνει τις δύο βασικές πράξεις του λογισμού των εξισώσεων που χρησιμοποιούμε και σήμερα, όταν θέλουμε να φέρουμε μια εξίσωση στην τελική μορφή της: τη μεταφορά όρων από το ένα μέλος στο άλλο και την αναγωγή των ομοίων όρων. Με τις πράξεις αυτές ο Διόφαντος μετασχηματίζει τις εξισώσεις των *Αριθμητικών*, ώστε να λάβουν ή την απλή μορφή της ισότητας δύο «ειδών» ($\alpha x^m = \beta x^n$) ή, όταν αυτό δεν είναι δυνατόν, τη μορφή μιας δευτεροβάθμιας εξίσωσης.

Αυτό είναι με λίγα λόγια το περιεχόμενο της Εισαγωγής των *Αριθμητικών*. Η παρουσίαση που προηγήθηκε φανερώνει τον **αλγεβρικό χαρακτήρα** του έργου, το οποίο αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο στάδιο στην εξέλιξη της άλγεβρας. Το στάδιο αυτό έχει ονομαστεί από τους ιστορικούς των μαθηματικών «συγκεκομμένη άλγεβρα», για να διακρίνεται, έτσι, από τη «συμβολική άλγεβρα» που εισήγαγε ο Viète με το έργο του *In artem analyticem Isagoge* [Εισαγωγή στην αναλυτική τέχνη] το 1591, την οποία χρησιμοποιούμε έως σήμερα.

2 ΟΙ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΣΤΟ ΜΕΣΑΙΩΝΑ

Από την εποχή της παρακμής της ελληνικής επιστήμης έως την αναβίωση των κλασικών γραμμάτων και των επιστημονικών σπουδών στην Ευρώπη το 15ο και το 16ο αι. πέρασαν περισσότερα από χίλια χρόνια. Αυτή η μακρά περίοδος, που να ονομάζεται Μεσαίωνας, δεν ήταν, όπως θα δούμε, τόσο «σκοτεινή» σε ό,τι αφορά την επιστημονική δραστηριότητα, όσο παρουσιάζεται συνήθως. Η ιστορία της επιστήμης μπορεί να αποτελέσει σ' αυτή την περίπτωση το μέσο για να αρθεί αυτή η προκατάληψη, που ακόμα και σήμερα εξακολουθεί να παραμένει ισχυρή. Στη διάρκεια αυτής της χιλιετίας, ο ισλαμικός πολιτισμός, το Βυζάντιο και ο λατινικός ευρωπαϊκός κόσμος (ιδιαίτερα από το 13ο αι. και μετά) παρέχουν αξιόλογα δείγματα επιστημονικής δραστηριότητας, η οποία δεν περιορίζεται στη διατήρηση, στη μελέτη και στη μετάδοση των γνώσεων που κληροδότησε η αρχαιότητα, αλλά συνοδεύεται συχνά με πρωτότυπες συνεισφορές στην κατεύθυνση τόσο του εμπλουτισμού όσο και της γόνιμης κριτικής και υπέρβασης μερικών πλευρών της αρχαίας κληρονομιάς.

2.1 Οι επιστήμες στο Βυζάντιο

Η προσφορά του Βυζαντίου στην ιστορία των επιστημών δε συνίσταται στην αύξηση του σώματος των γνώσεων που παρέδωσε η ελληνική αρχαιότητα. Αν και δεν

έλειψαν εντελώς ούτε οι πρωτότυπες συνεισφορές σε ιδέες και μεθόδους ούτε οι πρακτικές εφαρμογές των επιστημονικών γνώσεων στον καθημερινό βίο, αυτό που κυρίως χαρακτηρίζει τη βυζαντινή επιστήμη είναι η διαφύλαξη και παράδοση πολλών επιτευγμάτων της αρχαιότητας, αφ' ενός με την αντιγραφή και τη διάσωση των κειμένων και αφ' ετέρου με την ανθολόγηση, την ερμηνεία και το σχολιασμό τους. Το Βυζάντιο αποτέλεσε σημαντική οδό διάσωσης και μετάδοσης της αρχαίας ελληνικής επιστήμης προς την Ανατολή (Ισλάμ) και προς τη Δύση, και ταυτόχρονα, ιδίως κατά τους τελευταίους αιώνες, χώρο γόνιμης συνάντησης της ελληνικής με άλλες επιστημονικές παραδόσεις και, κυρίως, με την ακμάζουσα αραβική επιστήμη.

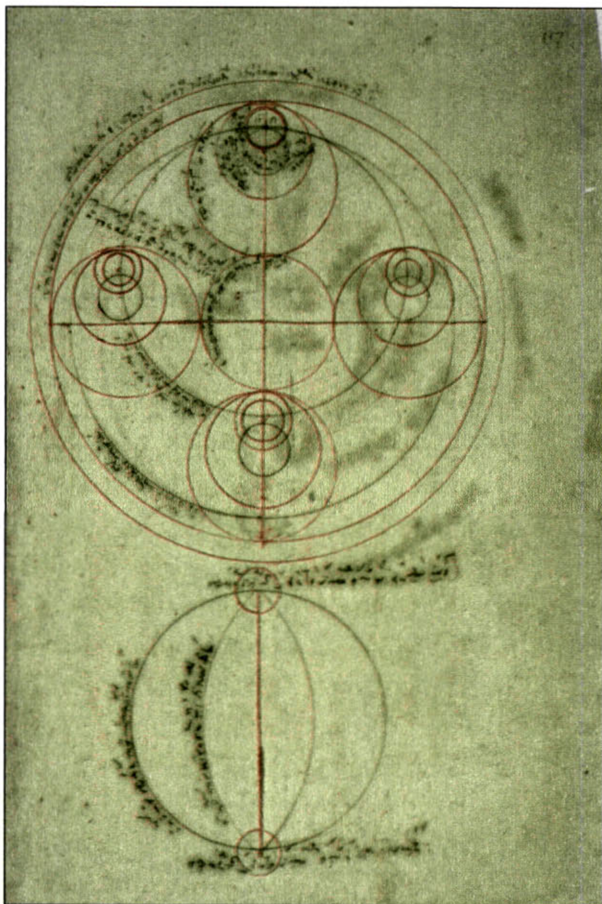
Στη διάρκεια της βυζαντινής χιλιετίας η επιστημονική δραστηριότητα γνώρισε περιόδους άνθησης, τις οποίες διαδέχονταν μακρές περίοδοι στασιμότητας. Οι εποχές της ακμής αντιστοιχούν σε αδρές γραμμές στις εποχές της γενικότερης άνθησης του βυζαντινού πολιτισμού. Τρεις είναι οι περίοδοι έξαρσης της επιστημονικής δραστηριότητας: η πρώτη, που εκτείνεται ως την εποχή της βασιλείας του Ιουστινιανού (527-565), αποτελεί ουσιαστικά την τελευταία αναλαμπή των σχολών της αρχαιότητας· η δεύτερη περίοδος, που είναι γνωστή ως *πρώτη βυζαντινή αναγέννηση*, έλαβε χώρα τον 9ο και το 10ο αι. και είχε ως κεντρική μορφή το Λέοντα το Μαθηματικό (ή Φιλόσοφο), ενώ, τέλος, η επονομαζόμενη *δεύτερη βυζαντινή αναγέννηση* κορυφώθηκε στα τέλη του 13ου και στις αρχές του 14ου αιώνα.

2.1.1 Πρωτοβυζαντινή περίοδος

Στη διάρκεια της πρώτης περιόδου η βυζαντινή επιστήμη αποτελεί φυσική συνέχεια της επιστήμης της ύστερης αρχαιότητας. Δεν υπάρχει σαφής διαχωριστική γραμμή μεταξύ των δύο. Η οργάνωση της εκπαίδευσης, εξάλλου, δεν άλλαξε σημαντικά. Οι σχολές της ύστερης αρχαιότητας λειτουργούσαν χωρίς ουσιαστικές αλλαγές στο περιεχόμενο των σπουδών τους ακόμη και έως τον 6ο μ.Χ. αιώνα· έτσι η εκπαίδευση ενός νέου του 5ου ή του 6ου αι. δε διέφερε από την εκπαίδευση ενός νέου του 3ου αιώνα.

Στις αρχές του 5ου αι. οι πιο σημαντικές σχολές όπου διδάσκονταν οι επιστήμες βρίσκονταν στην Αθήνα, στην Αλεξάνδρεια και στην Κωνσταντινούπολη. Η *σχολή των Αθηνών* διατηρήθηκε ως το 529, οπότε έκλεισε με διάταγμα του Ιουστινιανού. Την κεντρική θέση στη διδασκαλία κατείχαν τα μαθηματικά, η γνώση των οποίων ήταν κατά τους Νεοπλατωνικούς, που διηύθυναν τη σχολή, προϋπόθεση για την κατανόηση των προβλημάτων της φιλοσοφίας. Ο επιφανέστερος εκπρόσωπος της σχολής ήταν ο Πρόκλος (410-485), στον οποίο αναφερθήκαμε σε προηγούμενη ενότητα με αφορμή τα *Σχόλιά* του στο πρώτο βιβλίο των *Στοιχείων* του Ευκλείδη.

Ενώ στην Αθήνα θεωρούσαν τη διδασκαλία των μαθηματικών απλώς προπαιδευτική για την εισαγωγή στη φιλοσοφία, στη *σχολή της Αλεξάνδρειας* η εκπαίδευση ήταν προσανατολισμένη προς τις επιστήμες αυτές καθαυτές. Στη σχολή αυτή έδρασαν δύο από τους πιο προικισμένους εκπροσώπους της σχολιαστικής παράδοσης της εποχής εκείνης: ο σχολιαστής του Αριστοτέλη Σιμπλίκιος και ο Ιωάννης Φιλόπονος ή Γραμματικός, στον οποίο θα πρέπει να σταθούμε λίγο περισσότερο, καθώς υπήρξε το πιο κριτικό επιστημονικό πνεύμα της πρωτοβυζαντινής περιόδου. Στα έργα του *Εξηγητική κοσμογονία* και *Κατά των Πρόκλου, περί αϊδιότητος του κόσμου* και στα υπομνήματά του στη *Φυσική ακρόαση* του Αριστοτέλη ο Φιλόπονος υπέβαλε σε αυστηρή κριτική την αριστοτελική κοσμολογία και δυναμική. Οι αντιρρήσεις του εστιάζονται, κυρίως, στις θέσεις για την αιωνιότητα του κόσμου, τη μη ύπαρξη κενού χώρου, το συσχετισμό της κινούσας δύναμης με την ταχύτητα και την αντίσταση του υλικού μέσου. Ξεχωριστή σημασία για την ιστορία της επιστήμης έχει η κριτική του Φιλόπονου στην αριστοτελική θεωρία της *αντιπερίστασης* (βλ. κεφ. 2, ενότητα 4). Χρησιμοποιώντας λογικά επιχειρήματα και επικαλούμενος νοητικά πειράματα, ο Φιλόπονος απέρριψε τη θεωρία ότι ο αέρας είναι αυτός που μετά την απομάκρυνση του βέλους αναλαμβάνει το ρόλο του κινούντος και διατύπωσε τη θεωρία περί μιας ωθητικής δύναμης (impetus), που εντυπώνεται στο βέλος από το κινούν και είναι υπεύθυνη για τη συνέχιση της κίνησής του. Η θεωρία αυτή γνώρισε μεγάλη απήχηση στη Δυτική Ευρώπη κατά τη διάρκεια του ύστερου Μεσαίωνα.



Σελίδα από βυζαντινό αστρονομικό χειρόγραφο των αρχών του 14ου αιώνα.

2.1.2 Πρώτη βυζαντινή αναγέννηση

Στην Κωνσταντινούπολη, κατά τη διάρκεια της βασιλείας του Ηρακλείου (610-641) επαναλειτούργησε το πανεπιστήμιο, το οποίο είχε ιδρυθεί στις 27 Φεβρουαρίου του 425 από το Θεοδόσιο το Β΄, η λειτουργία του όμως διακόπηκε αρχικά επί Ιουστινιανού και αργότερα, το 726, επί Λέοντος Γ΄ του Ισαύρου. (Οφείλουμε εδώ να διευκρινίσουμε ότι χρησιμοποιούμε τον όρο «πανεπιστήμιο» συμβατικά, για να δηλώσουμε το κρατικό ανώτατο εκπαιδευτικό ίδρυμα που κατά καιρούς είχε διάφορες ονομασίες, όπως «αυτοκρατορικό auditorium», «οικουμενικόν διδασκαλείον», «πανδιδακτήριον» κ.ά.). Η επιστημονική δραστηριότητα στην πρωτεύουσα δεν πρέπει να ήταν αξιόλογη στη διάρκεια του 7ου και του 8ου αι., αρχίζει όμως να παρουσιάζει αξιόλογες εκφράσεις μετά την εποχή του αυτοκράτορα Θεόφιλου (829-842). Η πιο σημαντική πνευματική προσωπικότητα των αρχών του 9ου αι. είναι ο Λέων ο Μαθηματικός (ή Φιλόσοφος), ο οποίος γεννήθηκε γύρω στο 790 και έζησε τουλάχιστον ως το 869. Το 863 ανέλαβε τη διεύθυνση του ανασυσταθέντος πανεπιστημίου της Μαγναύρας, όπου δίδαξε φιλοσοφία και μαθηματικά. Ο Λέων επινόησε ένα είδος οπτικού τηλεγράφου, ασχολήθηκε με την αστρολογία, ενώ στις δικές του παραδόσεις ανάγονται τα αρχαιότερα σωζόμενα σχόλια στον Ευκλείδη και τον Αρχιμήδη. Πρωτότυπη συμβολή του Λέοντα στην εξέλιξη της άλγεβρας είναι η χρήση γραμμάτων για την παράσταση αριθμητικών ποσοτήτων. Ανεκτίμητης αξίας είναι τέλος η συμβολή του στη διάσωση των μεγάλων επιστημονικών έργων της αρχαιότητας, αφού στην εποχή του συντάχθηκαν, μεταγραμμένοι στη μικρογράμματη γραφή, οι περγαμηνοί κώδικες, που αποτελούν τη βάση της χειρόγραφης παράδοσης των επιστημονικών έργων των αρχαίων συγγραφέων.

Το 1045 ο Αυτοκράτωρ Κωνσταντίνος Θ΄ ο Μονομάχος αναδιοργάνωσε το πανεπιστήμιο και διόρισε Ύπατο των Φιλοσόφων το Μιχαήλ Ψελλό (1018-1078), ο οποίος δίδαξε τη μαθηματική *τετρακτύν*, αν και οι επιστήμες δεν ήταν στο επίκεντρο των ενδιαφερόντων του.

Ο 11ος αι. παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για την ιστορία της αστρονομίας, στην οποία αρχίζουν να διαμορφώνονται δύο ρεύματα. Το πρώτο, που θα μπορούσε να ονομαστεί παραδοσιακό, στόχευε στην ανασύσταση της αρχαίας ελληνικής αστρονομίας, τα έργα όμως που κατανοούνταν απ' αυτήν ήταν δεύτερης γραμμής. Το ρεύμα αυτό αντιπροσωπεύεται από πολλά χειρόγραφα των αρχών του 11ου αιώνα. Το δεύτερο ρεύμα συνδέεται με την επίδραση αραβικών αστρονομικών έργων του 9ου και του 10ου αιώνα.

2.1.3 Δεύτερη βυζαντινή αναγέννηση

Η περίοδος της λατινικής κατοχής (1204-1261) που ακολούθησε την πτώση της Κωνσταντινούπολης στους σταυροφόρους της Τετάρτης Σταυροφορίας επέφερε γενική παρακμή. Ο αριθμός των χειρογράφων που καταστράφηκαν ή διασκορπίστηκαν με κατεύθυνση κυρίως προς τη Δύση είναι δύσκολο να εκτιμηθεί, ενώ ένας μεγάλος αριθμός λογίων εγκατέλειψε την πρωτεύουσα και βρήκε καταφύγιο στην αυλή του αυτοκράτορα της Νικαίας Θεόδωρου Α΄ Λάσκαρι (1204-1222), αναδεικνύοντας την αυτοκρατορία της Νίκαιας σπουδαίο πνευματικό κέντρο.



Γεώργιος Παχυμέρης

Στην αρχή η έλλειψη εκπαιδευτικών ιδρυμάτων, κτιρίων, βιβλιοθηκών και η σπανιότητα των βιβλίων αποτέλεσαν ανασχετικό παράγοντα για την πνευματική ζωή, αργότερα όμως οι αυτοκράτορες Ιωάννης Γ΄ Δούκας Βατάτζης (1222-1254) και Θεόδωρος Β΄ Δούκας Λάσκαρις (1254-1258) οργάνωσαν την εκπαίδευση, ίδρυσαν βιβλιοθήκες και φρόντισαν να συγκεντρώσουν βιβλία. Η πιο αξιόλογη πνευματική προσωπικότητα της αυτοκρατορίας της Νίκαιας ήταν ο Νικηφόρος Βλεμμύδης (περ. 1197/98-1272).

Μαθητής του Βλεμμύδη ήταν ο Γεώργιος Ακροπολίτης (1217-1282). Μετά την απελευθέρωση της Κωνσταντινούπολης (1261) κατέλαβε υψηλά πολιτικά αξιώματα ανέλαβε τη διεύθυνση του αναδιοργανωμένου κρατικού πανεπιστημίου, όπου δίδαξε φιλοσοφία αλλά και γεωμετρία από τον Ευκλείδη και αριθμητική από το Νικόμαχο. Ο πιο προικισμένος από τους μαθητές του Ακροπολίτη ήταν ο Γεώργιος Παχυμέρης (περ. 1242-1310) στον οποίο οφείλουμε τη σημαντικότερη *τετρακτύ* που γράφτηκε στο Βυζάντιο (*Τετράβιβλος ή Σύνταγμα των τεσσάρων μαθημάτων*). Η επιλογή του να βασιστεί για τη συγγραφή του κεφαλαίου της αριθμητικής στο έργο

του Διοφάντου δε δείχνει μόνο μεγάλη εξοικείωση με αυτό, αλλά αποκαλύπτει και μια ιδιαίτερη ερμηνεία του, την αριθμοθεωρητική ερμηνεία, που το 17ο αι. θα αποδώσει πλούσιους καρπούς στα χέρια μαθηματικών, όπως του Bachet de Méziriac (Μπασέ ντε Μεζιριάκ, 1581-1638), του Pierre Fermat (Πιέρ Φερμά, 1601-1665) κ.ά.

Ο σημαντικότερος εκπρόσωπος της αναγέννησης των πρώτων Παλαιολόγων και ένας από τους ευρυμαθέστερους και πολυγραφότερους βυζαντινούς λογίους ήταν ο Μάξιμος Πλανούδης (1255-1305 ή 1260-1310). Η γνώση της Λατινικής του επέτρεψε να μεταφράσει πολλά θεολογικά και κλασικά έργα. Τα κύρια ενδιαφέροντά του, όμως, ήταν η έκδοση, ο σχολιασμός και η ανθολόγηση αρχαίων ελληνικών κειμένων. Στα επιστημονικά έργα που εξέδωσε περιλαμβάνονται τα *Φαινόμενα* του Αράτου, τα οποία σχολίασε, τα *Σφαιρικά* του Θεοδοσίου, τα *Στοιχεία* του Ευκλείδη και τα *Αριθμητικά* του Διοφάντου, των οποίων σχολίασε τα δύο πρώτα βιβλία. Έγραψε, επίσης, ένα έργο με τον τίτλο *Ψηφηφορία κατ' Ινδούς η λεγομένη μεγάλη.*

Με τη βασιλεία του Ανδρόνικου Β´ (1282-1328) άρχισε μια νέα λαμπρή εποχή για την πνευματική ζωή στο Βυζάντιο, στην οποία άνθισαν όλες οι επιστήμες, κυρίως όμως η αστρονομία. Γι' αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως η χρυσή εποχή της βυζαντινής αστρονομίας, της οποίας ανθούν και τα δύο ρεύματα που είχαν αρχίσει να διαμορφώνονται ήδη από τον 11ο αιώνα.



Θεόδωρος Μετοχίτης. Λεπτομέρεια από ψηφιδωτό της Μονής της Χώρας στην Κωνσταντινούπολη.

Ο πρώτος σημαντικός εκπρόσωπος του παραδοσιακού ρεύματος ήταν ο Θεόδωρος Μετοχίτης (1270-1332), που διακρίθηκε και ως πολιτικός. Γύρω στα 1316 ολοκλήρωσε τη συγγραφή της μνημειώδους *Στοιχειώσεως αστρονομικής*, μιας συστηματικής πραγματείας που δεν περιορίζεται απλώς στην πρακτική χρήση των αστρονομικών πινάκων, αλλά περιέχει αποδείξεις κατά

το πρότυπο της *Μεγίστης*. Μαθητής του Μετοχίτη ήταν ο Νικηφόρος Γρηγοράς (1293/94-1358/61). Έγραψε ένα λόγο προτρεπτικό στις αστρονομικές σπουδές και δύο δοκίμια για τον αστρολάβο. Στο ρεύμα αποκατάστασης της πτολεμαϊκής αστρονομίας πρέπει να αναφέρουμε ακόμη τον Θεόδωρο Μελιτηνιώτη (περ. 1310-1388), ο οποίος γύρω στο έτος 1352 έγραψε ένα έργο με τίτλο *Τρίβιβλος αστρονομική*, το πιο περιεκτικό και επιμελημένο βυζαντινό αστρονομικό σύγγραμμα (του οποίου πάντως το τρίτο βιβλίο έχει θέμα την περσική αστρονομία).

Κατά το δεύτερο μισό του 13ου αιώνα εισέδυσε ευρέως στο Βυζάντιο η περσοαραβική αστρονομία προερχόμενη από μια πόλη στα βόρεια του Ιράν, την Ταυρίδα (Tabriz), που είχε εξελιχθεί σε διεθνές κέντρο της αραβικής επιστήμης. Η διείσδυση στο Βυζάντιο αρχίζει με τις μεταφράσεις εγχειριδίων που έγιναν από τον Γρηγόριο (Γεώργιο) Χιονιάδη. Το 1347 δημοσιεύθηκε η *Εξήγησις εις την Σύνταξιν των Περσών* του Γεωργίου Χρυσοκόκκη. Οι πίνακές του βιβλίου του Χρυσοκόκκη αντιγράφτηκαν από τον Μελιτηνιώτη στο τρίτο βιβλίο της *Τριβίβλου* του, το οποίο γνώρισε και αυτοτελή ύπαρξη υπό τον τίτλο *Παράδοσις των περσικών κανόνων*. Από το τέλος του 14ου και διαρκούντος του 15ου αι. πολλαπλασιάστηκαν στο Βυζάντιο οι ξένες αστρονομικές επιδράσεις κυρίως μέσω των μεταφράσεων αστρονομικών πινάκων. Εκτός από τις μεταφράσεις ελάχιστα είναι τα πρωτότυπα έργα, όπως η αστρονομία του Γεωργίου Γεμιστού Πλήθωνα (περ. 1355-1451).

Οι τελευταίες δεκαετίες της Βυζαντινής αυτοκρατορίας δεν έχουν να επιδείξουν αξιόλογη παραγωγή επιστημονικών έργων. Οι τέσσερις μαθηματικές επιστήμες εξακολουθούσαν να διδάσκονται, οι δάσκαλοι όμως δεν ήταν μεγάλης επιστημονικής εμβέλειας, με εξαίρεση ίσως τον Ιωσήφ Βρυέννιο (περ. 1340-1430/31).

2.2 Η αραβική επιστήμη

Η επιστήμη που αναπτύχθηκε στους κόλπους του ισλαμικού πολιτισμού στη διάρκεια των επτά αιώνων που μεσολάβησαν από το 750 έως το 1450, ονομάζεται από άλλους «ισλαμική επιστήμη» και από άλλους «αραβική επιστήμη». Στην πραγματικότητα, κανένας από τους δύο αυτούς όρους δεν είναι απολύτως ικανοποιητικός. Ο πρώτος όρος παραπέμπει ρητά στις θρησκευτικές και κοινωνικοπολιτικές συνιστώσες του επιστημονικού φαινομένου που αναπτύχθηκε στην πιο πάνω περίοδο και δεν είναι απολύτως σωστός διότι, παρ' όλο που οι περισσότεροι από τους επιστήμονες που άκμασαν στον τότε ισλαμικό κόσμο ήσαν μουσουλμάνοι, υπήρχαν, ωστόσο, και επιστήμονες με άλλες θρησκευτικές πεποιθήσεις (χριστιανοί οπαδοί της αίρεσης του Νεστορίου, ιουδαίοι, σαβιανοί, οπαδοί του Ζωροάστρη κτλ.)· επίσης, μολονότι ένας αριθμός προβλημάτων τα οποία απασχόλησαν τους επιστήμονες

Δεν έχουμε τον χώρο εδώ να σταθούμε στην πολιτική ιστορία του Ισλάμ η οποία αρχίζει το έτος 622 μ.Χ. όταν ο Μωάμεθ φεύγει από τη Μέκκα, την πόλη στην οποία γεννήθηκε, για να βρει καταφύγιο στη Μεδίνα. Θα περιοριστούμε μόνο να σημειώσουμε ότι από το έτος 630 μ.Χ., όταν ο Προφήτης επέστρεψε θριαμβευτής στη Μέκκα, οι οπαδοί του ξεχύθηκαν σε έναν ιερό πόλεμο, το αποτέλεσμα του οποίου ήταν σε λιγότερο από έναν αιώνα να δημιουργηθεί μια τεράστια αυτοκρατορία η οποία το έτος 715 μ.Χ. εκτεινόταν από τα Πυρηναία ως τις παρυφές της Κίνας.

Στη διάρκεια των πρώτων δεκαετιών της ισλαμικής επέκτασης δεν μπορεί να γίνεται λόγος για καλλιέργεια της επιστήμης στους κόλπους της νέας αυτοκρατορίας. Η κατάκτηση όλο και περισσότερων γεωγραφικών περιοχών δεν άφηνε κανένα περιθώριο στους Μωαμεθανούς για να επιδοθούν στην κατάκτηση των «περιοχών της γνώσης». Αργότερα όμως έμελλε να διακριθούν και σ' αυτόν τον τομέα. Αυτό έγινε ιδιαίτερα μετά την άνοδο στην εξουσία των Χαλιφών της Δυναστείας των Αββασιδών που διαδέχθηκαν το 750 μ.Χ. τους Χαλίφες της Δυναστείας των Ομμεϋαδών.

στην εν λόγω περίοδο συνδέεται άμεσα με τους ισλαμικούς νόμους και τους κανόνες της μωαμεθανικής θρησκείας (ρύθμιση του χρόνου έναρξης μιας εκάστης εκ των πέντε καθημερινών προσευχών, προσανατολισμός προς την «ιερή» κατεύθυνση δηλ. προς το ιερό τέμενος Κάαβα στη Μέκκα, προβλήματα κληρονομιών σύμφωνα με το ισλαμικό δίκαιο κτλ.), το μεγαλύτερο μέρος των μαθηματικών, της φυσικής, της αστρονομίας και της ιατρικής που αναπτύχθηκαν στους κόλπους του ισλαμικού πολιτισμού δεν συνδέεται άμεσα με τη θρησκεία. Από την άλλη πλευρά, ο όρος «αραβική επιστήμη» είναι περισσότερο δόκιμος υπό τη ρητή προϋπόθεση, όμως, ότι ο επιθετικός προσδιορισμός «αραβική» δεν έχει εθνολογική αλλά μόνο γλωσσική σημασία. Πράγματι, ένας μεγάλος αριθμός σημαντικών «αράβων» επιστημόνων, δεν ήσαν Άραβες. Ζούσαν στην Περσία και σε άλλες περιοχές, όμως η κύρια επιστημονική τους γλώσσα ήταν τα αραβικά. Με τις επιφυλάξεις αυτές κατά νου επιλέγουμε να χρησιμοποιούμε τον όρο «αραβική επιστήμη» διευκρινίζοντας όμως ρητά ότι με τον όρο αυτό θα εννοούμε την επιστημονική δραστηριότητα που ανέπτυξαν οι άνθρωποι που έζησαν στην περιοχή η οποία εκτείνεται χρονικά από τον 8ο μ.Χ. αι. ως τις απαρχές της νεότερης εποχής και γεωγραφικά από την Ιβηρική Χερσόνησο και τη Βόρεια Αφρική ως την κοιλάδα του Ινδού ποταμού και από τη νότια Αραβία ως την Κασπία Θάλασσα. Στην περιοχή αυτή, κατά το μεγαλύτερο μέρος της παραπάνω περιόδου επικρατούσε ο ισλαμικός πολιτισμός και τα επιστημονικά κείμενα συντάσσονταν, ως επί το πλείστον, στην αραβική γλώσσα.

Ας δούμε τώρα σε αδρές γραμμές ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά της επιστημονικής δραστηριότητας που αναπτύχθηκε στους κόλπους του

ισλαμικού πολιτισμού.

Η αφύπνιση του ενδιαφέροντος για την επιστήμη στο πλαίσιο ενός δεδομένου πολιτισμού δεν νοείται χωρίς την απόκτηση ενός μέρους τουλάχιστον από την επιστημονική κληρονομιά των προηγούμενων πολιτισμών. Η αραβική επιστήμη δεν αποτελεί, φυσικά, εξαίρεση σε αυτό και επομένως μια σημαντική διάσταση της ιστορίας της είναι η **πρόσληψη της προγενέστερης επιστήμης**. Οι επιστημονικές παραδόσεις από τις οποίες άντλησαν οι Άραβες δεν είναι δύσκολο να αναγνωρισθούν. Πρώτα-πρώτα ήταν η ελληνική επιστήμη με όλους τους κλάδους της, πλάι σ' αυτή όμως πρέπει να προσθέσουμε την περσική αστρονομική παράδοση και επίσης την ινδική κληρονομιά τόσο στην αστρονομία όσο και στη λογιστική τέχνη (με βάση το δεκαδικό ψηφιακό αριθμητικό σύστημα). Όλες αυτές οι παραδόσεις, πάντως, δεν ήσαν τελείως ανεξάρτητες μεταξύ τους. Ανήκαν στην ευρύτερη ελληνιστική επιστημονική παράδοση. Τα όρια και οι διακρίσεις, άλλωστε, μεταξύ των διαφόρων επιστημονικών παραδόσεων του ελληνιστικού κόσμου και του κόσμου της ύστερης αρχαιότητας, δεν είναι καθόλου ευδιάκριτα.



Ο Οίκος της σοφίας ιδρύθηκε στη Βαγδάτη κατά την περίοδο της βασιλείας του χαλίφη Αλ-Μαμούν (813-833), κατά το πρότυπο του Μουσείου της Αλεξάνδρειας. Στο ίδρυμα αυτό η μεταφραστική δραστηριότητα έφτασε στο ανώτατο σημείο της. (Αραβική εικόνα του 13ου αιώνα.)

Η σημαντικότερη επιστημονική παράδοση από την οποία άντλησαν οι Άραβες, τόσο από ποιοτική όσο και από ποσοτική άποψη, ήταν η ελληνική. Ένας συγγραφέας μάλιστα έχει χαρακτηρίσει την αναβίωση της αρχαίας ελληνικής επιστήμης και φιλοσοφίας στο μεσαιωνικό Ισλάμ ως «την πρώτη αναγέννηση των ελληνικών γραμμάτων». Οι προϋποθέσεις και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες έγινε δυνατή αυτή η

> **Ο ΙΣΤΟΡΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΑΡΑΒΙΚΩΝ ΜΕΤΑΦΡΑΣΕΩΝ**
>
> Ο ιστορικός ρόλος των αραβικών μεταφράσεων των αρχαίων ελληνικών επιστημονικών και φιλοσοφικών κειμένων είναι διττός: αφ' ενός, η αρχαιοελληνική επιστήμη και φιλοσοφία έγιναν γνωστές στην Ευρώπη, κατά τον όψιμο μεσαίωνα, δια μέσου, κυρίως, των αραβικών μεταφράσεων (όπως είδαμε στο παράδειγμα της μετάδοσης των *Στοιχείων* του Ευκλείδη)· αφ' ετέρου, οι αραβικές μεταφράσεις αποδείχθηκαν σημαντικές για τη γνώση ακόμη και αυτής της ίδιας της αρχαίας ελληνικής επιστήμης, αφού: 1) οι αραβικές μεταφράσεις, τις πιο πολλές φορές, βασίζονται σε ελληνικά ή σε συριακά αρχέτυπα που είναι παλαιότερα των αρχαιότερων σωζόμενων ελληνικών χειρογράφων (άρα είναι αξιόπιστες) και 2) δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις κειμένων που το ελληνικό πρωτότυπο έχει χαθεί και τα γνωρίζουμε σήμερα μόνο δια μέσου των αραβικών τους μεταφράσεων.

αναγέννηση παρουσιάζουν μεγάλο ιστοριογραφικό ενδιαφέρον και η νεότερη βιβλιογραφία που πραγματεύεται το θέμα είναι εκτενής και τροφοδοτείται συνεχώς από νέες μελέτες. Δύο βασικές πλευρές της διάδοσης της ελληνικής επιστήμης στο Ισλάμ θέλουμε να επισημάνουμε εδώ.

Η πρώτη είναι η «κινηματική» πλευρά της διάδοσης. Με τον όρο αυτό εννοούμε την απόκτηση ενός μεγάλου αριθμού σημαντικών επιστημονικών κειμένων και τη **«μεταφορά»** τους από το περιβάλλον παραγωγής τους σε ένα νέο περιβάλλον, το περιβάλλον υποδοχής. Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της «μεταφοράς» στην προκειμένη περίπτωση είναι ότι δεν επρόκειτο για γεωγραφική μεταφορά. Μερικά από τα πιο σημαντικά κέντρα του ελληνιστικού κόσμου στις βιβλιοθήκες των οποίων ήταν αποθηκευμένοι οι θησαυροί της αρχαίας ελληνικής επιστήμης και φιλοσοφίας (η Αλεξάνδρεια, η Αντιόχεια, τα σημαντικά μοναστήρια της Αιγύπτου, της Συρίας και του Ιράκ), αποτελούσαν μέρος ενός και του αυτού κόσμου, ο οποίος βαθμιαία περιερχόταν σε αραβική κυριαρχία. Η διάδοση, λοιπόν, έλαβε χώρα μέσα στους κόλπους ενός και του αυτού πληθυσμού, ο οποίος εξακολουθούσε να ζει στα ίδια εδάφη στα οποία ζούσε και παλιά και του οποίου αλλάζει η κουλτούρα, αφ' ενός με την επικράτηση μιας νέας θρησκείας και, αφ' ετέρου, με την έλευση μιας νέας γλώσσας η οποία αντικαθιστά μια άλλη γλώσσα. Η μετάδοση, επομένως, της ελληνικής επιστήμης στο Ισλάμ ήταν ουσιαστικά μια «γλωσσική» μεταφορά, είχε δηλαδή τον χαρακτήρα μιας μαζικής μεταφραστικής δραστηριότητας. Μέχρι το 1000 μ.Χ., γράφει ο ιστορικός της επιστήμης David Lindberg (Λίντμπεργκ) στο βιβλίο του *Οι απαρχές της δυτικής επιστήμης*, «το σύνολο σχεδόν των [σωζόμενων την εποχή εκείνη] έργων της ελληνικής ιατρικής, φυσικής φιλοσοφίας και μαθηματικής επιστήμης είχαν αποδοθεί σε εύχρηστες αραβικές εκδοχές».

Η μετάδοση της αρχαίας ελληνικής επιστήμης στο Ισλάμ δεν ήταν, όμως, μια παθητική διαδικασία πρόσληψης. Οι ιστορικοί της επιστήμης, σήμερα, τείνουν να υιοθετήσουν, αντί του όρου «πρόσληψη», τον όρο **«οικειοποίηση»**, προκειμένου να χαρακτηρίσουν το φαινόμενο. Ο όρος «οικειοποίηση» εκφράζει την υιοθέτηση από τους λογίους αυτούς της ελληνικής αντίληψης για τον κόσμο, τη γνώση, τις ηθικές αξίες και, ιδιαίτερα, για τη μεθοδολογία και το περιεχόμενο της επιστήμης. «Η ισλαμική επιστήμη», γράφει και πάλι ο Lindberg, «κτίστηκε ως επί το πλείστον σε ελληνικά θεμέλια και διαμορφώθηκε σύμφωνα με τις ελληνικές αρχιτεκτονικές αρχές· οι μουσουλμάνοι δεν προσπάθησαν να κατεδαφίσουν το ελληνικό οικοδόμημα και να κτίσουν εξαρχής, αλλά αφιέρωσαν τις δυνάμεις τους στην αποπεράτωσή του.» Κατά συνέπεια, **οι Άραβες είναι όχι απλώς κληρονόμοι αλλά συνεχιστές της αρχαίας ελληνικής επιστήμης**. Πρέπει να σημειώσουμε στο σημείο αυτό ότι η πρόσληψη της ελληνικής επιστήμης από το Ισλάμ δεν πραγματοποιήθηκε μόνο με ατομικές πρωτοβουλίες του ενός ή του άλλου λογίου αλλά ήταν μια κατ' εξοχήν σκόπιμη και οργανωμένη δραστηριότητα των αράβων λογίων που καθοδηγήθηκε από Χαλίφες, αυλικούς αξιωματούχους, πλούσιους εμπόρους και μαικήνες, για να αποκτήσουν πρόσβαση στους καρπούς της αρχαίας ελληνικής και ελληνιστικής σκέψης, ιδίως στις γνώσεις εκείνες που ήσαν «χρήσιμες» τόσο για πρακτικούς όσο και για θεωρητικούς λόγους.

Η οικειοποίηση της αρχαίας ελληνικής και ελληνιστικής επιστήμης αποτελεί τη μία πλευρά του επιστημονικού φαινομένου που αναπτύχθηκε στους κόλπους του ισλαμικού πολιτισμού. Η δεύτερη πλευρά συνίσταται στην **παραγωγή πολλών πρωτότυπων αποτελεσμάτων** σε όλους σχεδόν τους τομείς. Ο χώρος δεν μας επιτρέπει να κάνουμε εδώ μια πλήρη καταγραφή των καινοτομιών αυτών, καθώς μόνο για την περίπτωση των μαθηματικών μια τέτοια καταγραφή θα έπρεπε να συμπεριλάβει την τελειοποίηση της αριθμητικής του ινδικής προελεύσεως δεκαδικού ψηφιακού θεσιακού συστήματος με την εισαγωγή σ' αυτό και των δεκαδικών αριθμών, τη δημιουργία μιας «ρητορικής» άλγεβρας (αντί της «συγκεκομμένης» άλγεβρας του Διοφάντου) που περιλαμβάνει την επίλυση και των εξισώσεων τρίτου βαθμού, σημαντικές ανακαλύψεις στην επίπεδη και σφαιρική τριγωνομετρία καθώς και τη συστηματοποίηση αυτών των επιστημών και, τέλος, την επινόηση τεχνικών για την αριθμητική επίλυση των εξισώσεων. Θα αρκεστούμε, επομένως, να παρουσιάσουμε την πρωτότυπη συμβολή των Αράβων επιλέγοντας ενδεικτικά δύο επιστημονικά πεδία: την αστρονομία και την οπτική.

Η αστρονομία: Η ιστορία της αραβικής αστρονομίας αρχίζει με τη μετάφραση μιας ινδικής αστρονομικής πραγματείας (μιας *Σιδχάντα*) από τον αλ-Φαζάρι, γύρω στο 773, κατόπιν εντολής του Χαλίφη αλ-Μανσούρ. Η μετάφραση αυτή, που γνώρισε μεγάλη απήχηση υπό τον τίτλο *Zij al-Sindhind*, σηματοδοτεί την πρώιμη περίοδο



Εικόνα που δείχνει Άραβες αστρονόμους να εργάζονται σε ένα αστεροσκοπείο.

της αραβικής αστρονομίας η οποία χαρακτηρίζεται από ινδουιστικές επιδράσεις. Οι επιδράσεις αυτές όμως εξαφανίστηκαν στις αρχές του 9ου αι. όταν οι Άραβες αστρονόμοι απέκτησαν πρόσβαση στη *Μεγίστη* του Πτολεμαίου και στα άλλα έργα της ελληνικής αστρονομικής παράδοσης, τα οποία μετέφρασαν αμέσως στα αραβικά, πολλά απ' αυτά μάλιστα περισσότερες από μία φορές. Έκτοτε η αραβική αστρονομία αναπτύχθηκε κατά βάση σε πτολεμαϊκό πλαίσιο. Τα ελληνικά κείμενα μελετήθηκαν, σχολιάστηκαν και συνοψίστηκαν σε εύχρηστα εγχειρίδια. Οι Άραβες όμως δεν αρκέστηκαν σ' αυτά που κληρονόμησαν. Συνεισέφεραν και οι ίδιοι τόσο στην παρατηρησιακή όσο και στη θεωρητική (μαθηματική) αστρονομία. Σε ό,τι αφορά την παρατηρησιακή αστρονομία, κατόρθωσαν να βελτιώσουν τα όργανα παρατήρησης και να συντάσσουν συνεχώς νέους, ακριβέστερους πίνακες με τις συντεταγμένες των απλανών αστέρων και τις τιμές των διαφόρων παραμέτρων των πτολεμαϊκών μοντέλων (αστρικοί κατάλογοι). Οι παρατηρήσεις γίνονταν από αστεροσκοπεία τα οποία συχνά κτίζονταν με κύριο σκοπό τη σύνταξη νέων βελτιωμένων πινάκων, γι' αυτό ακριβώς και η ύπαρξή τους ήταν εφήμερη. Στη θεωρητική αστρονομία, εξάλλου, αξίζει μεταξύ άλλων να μνημονεύσουμε τους εξής: τον Τάμπιτ ιμπν Κούρα († 901), ο οποίος από τη μελέτη των φαινομένων κινήσεων του Ηλίου και της Σελήνης κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η μετάπτωση των ισημεριών είναι ανομοιόμορφη και διατύπωσε μια θεωρία για να εξηγήσει το φαινόμενο· τον αλ-Μπαττάνι († 929), ο οποίος ανακάλυψε την κίνηση της γραμμής των αψίδων του Ηλίου (δηλ. τη μεταβολή του περίγειου της ηλιακής τροχιάς) και υπολόγισε ακριβέστερα τη λό-

ξωση της εκλειπτικής· τέλος, δεν άφησε ασυγκίνητους τους αστρονόμους του Ισλάμ (κυρίως στην Ισπανία τον 12ο αι.) η παλιά γνωστή διαμάχη μεταξύ των οπαδών του Αριστοτέλη που πρέσβευαν τη φυσική ύπαρξη των ομόκεντρων σφαιρών και των οπαδών του Πτολεμαίου που ήσαν προσανατολισμένοι στη μαθηματική περιγραφή των πλανητικών κινήσεων.

Η οπτική: Η αρχαία κληρονομιά στην περιοχή της *Οπτικής*, εκτός από τα συγγράμματα του Αριστοτέλη, περιελάμβανε κυρίως τις ομώνυμες πραγματείες του Ευκλείδη και του Πτολεμαίου. Οι Άραβες συνέχισαν και εδώ το έργο των Αρχαίων Ελλήνων. Ιδιαίτερα οι εργασίες του Ιμπν αλ-Χαϊτάμ (περ. 965-1040), ο οποίος είναι περισσότερο γνωστός με την εκλατινισμένη μορφή του ονόματός του ως Αλχαζέν, αποτέλεσαν τη σημαντικότερη πηγή τόσο για τη μαθηματική όσο και για τη φυσιολογική οπτική, ως τον 17ο αιώνα. Τα επιτεύγματά του και στους δύο τομείς ήταν πολύ αξιόλογα. Υποστήριξε ότι η διάδοση του φωτός δεν είναι στιγμιαία και απέρριψε τη θεωρία της εκπομπής φωτεινών ακτίνων από το μάτι προς το αντικείμενο (θεωρία την οποία είχαν υποστηρίξει και μαθηματικοποιήσει ο Ευκλείδης και ο Πτολεμαίος) υπέρ της θεωρίας ότι το φως εκπέμπεται από το αντικείμενο προς το μάτι. Μελέτησε το φαινόμενο της διάθλασης και απέδειξε ότι η γωνία διάθλασης δεν είναι ανάλογη της γωνίας πρόσπτωσης, όπως λαθεμένα υποστήριζε ο Πτολεμαίος, ενώ μελέτησε επίσης τα σφαιρικά και παραβολικά κάτοπτρα και τους φακούς. Τέλος, σημαντικό ήταν το έργο του στη φυσιολογία και την ανατομία του ματιού, όπου όμως υποστήριζε λαθεμένα ότι οι φακοί είναι το ευαίσθητο μέρος του ματιού και ότι σ' αυτούς σχηματίζεται το είδωλο του αντικειμένου. Η άποψη αυτή εγκαταλείφθηκε τον 17ο αι. όταν ο Κέπλερ διατύπωσε τη θεωρία του ειδώλου του αμφιβληστροειδούς.

2.3 Ο ύστερος Μεσαίωνας στη λατινική Ευρώπη

Ο 12ος και ο 13ος αι. παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον για την ιστορία της επιστήμης στη λατινική Δύση. Η ιδεολογική, κοινωνική και πολιτική επικράτηση του Χριστιανισμού μοιραία οδήγησε σε μια ριζικά νέα θεώρηση του κόσμου και της φύσης, καθώς και των σχέσεων των ανθρώπων με το φυσικό περιβάλλον τους. Ο κόσμος και η φύση έπρεπε τώρα να ερμηνευθούν με έννοιες που δε θα ήταν αντίθετες με το περί της θεϊκής φύσης δόγμα του Χριστιανισμού. Λόγου χάρη, δε θα μπορούσε πια να γίνει δεκτή η ανυπαρξία κενού, που ο Αριστοτέλης με λογικά επιχειρήματα είχε αποδείξει, επειδή, απλούστατα - αφού ο Θεός ήταν παντοδύναμος - θα μπορούσε, αν επιθυμούσε, να δημιουργήσει το κενό. Τέτοιου είδους **θεολογικοί και φιλοσοφικοί στοχασμοί** έπαιξαν σημαντικό ρόλο (άλλοτε θετικό και άλλοτε αρνητικό) στην αποσαφήνιση εννοιών σχετικών με το φυσικό κόσμο.

Οι πρώτοι αιώνες του Μεσαίωνα σημαδεύονται από περίπλοκες πολιτικές, κοινωνικές και ιδεολογικές ανακατατάξεις. Αναμφισβήτητα, η πλήρης κυριαρχία του Χριστιανισμού στην Ευρώπη επηρεάζει το σύνολο της κοινωνικής ζωής. Η κυριαρχία αυτή, όμως, δεν ήταν μόνο ιδεολογική: ο Πάπας ενισχύει την πολιτική εξουσία του, αρχίζουν να σχηματίζονται ένοπλες δυνάμεις υπό τη διοίκηση της εκκλησίας, ενώ τα μοναστήρια αποκτούν βαθμιαία όλο και εντονότερη κοινωνική παρουσία. Η πολιτική αυτή κυριαρχία δεν ήταν, βέβαια, αποδεκτή από πολλούς βασιλείς, πρίγκιπες και φεουδάρχες. Τα Χριστούγεννα του έτους 800 μ.Χ. γίνεται από τον Πάπα η στέψη του Καρλομάγνου (Κάρολος Α΄ ο Μέγας, 742-814) ως αυτοκράτορα της Δύσης. Το γεγονός αυτό σηματοδοτεί για πολλούς ιστορικούς την αφετηρία της δημιουργίας μιας παράλληλης με τη θρησκευτική, κοσμικής εξουσίας. Βέβαια, ώσπου να αποσαφηνιστούν τα όρια της δικαιοδοσίας της καθεμιάς από τις δύο εξουσίες, χρειάστηκε να περάσουν πολλοί αιώνες, στη διάρκεια των οποίων ο κατά καιρούς ισχυρότερος μεταξύ των δύο προσπαθούσε, σε πρώτη ευκαιρία, να τα παραβιάσει.

Εξάλλου, από τα τέλη του 11ου αι. είχε αρχίσει, κυρίως στην Ισπανία, μια περίοδος έντονης **μεταφραστικής δραστηριότητας**. Μεταφράζονται από τα αραβικά στα λατινικά κείμενα της ελληνικής αρχαιότητας, καθώς και πρωτότυπα επιστημονικά κείμενα γραμμένα από Άραβες λογίους. Δια μέσου αυτών των μεταφράσεων οι λόγιοι της Ευρώπης αποκτούν, στη διάρκεια των επόμενων δύο αιώνων, μια ολοκληρωμένη εικόνα της αρχαίας ελληνικής επιστημονικής γραμματείας. Οι Ευρωπαίοι λόγιοι βρίσκουν στα ελληνικά κείμενα απαντήσεις σε πολλά από τα κοσμολογικά και τα φιλοσοφικά προβλήματα που τους απασχολούσαν και με εκτενείς σχολιασμούς αποσαφηνίζουν τις δύσκολες πλευρές των κειμένων.

2.3.1 Η δημιουργία των πρώτων ευρωπαϊκών πανεπιστημίων

Τα πανεπιστήμια άρχισαν να αποκτούν υπόσταση στη Δυτική Ευρώπη το 12ο αιώνα. Μπορούν να θεωρηθούν ως η μετεξέλιξη μερικών μοναστηριών, στα οποία οι μοναχοί ασχολούνταν συστηματικά με τα γράμματα. Στη διάρκεια του μετασχηματισμού τους βαθμιαία αυτονομήθηκαν από τους εκκλησιαστικούς μηχανισμούς. Ο E. Grant (Γκραντ), ένας από τους πιο σημαντικούς ιστορικούς της μεσαιωνικής επιστήμης, σημειώνει στο βιβλίο του *Οι φυσικές επιστήμες τον Μεσαίωνα* (1971): «Το πανεπιστήμιο ήταν το θεσμικό μέσο με το οποίο η Δυτική Ευρώπη θα οργάνωνε, θα απορροφούσε και θα επεξέτεινε τον μεγάλο όγκο της καινούργιας γνώσης, το εργαλείο μέσω του οποίου θα έπλαθε και θα διέδιδε μια κοινή διανοητική κληρονομιά για τις ερχόμενες γενιές».

Ήδη το έτος 1200 στα Πανεπιστήμια των Παρισίων και της Οξφόρδης ανθούσαν οι φιλοσοφικές



Μεσαιωνικό Πανεπιστήμιο.

σπουδές, ενώ στο Πανεπιστήμιο της Βολωνίας (Μπολόνια) ανθούσαν οι σπουδές στα νομικά και στην ιατρική. Οι φοιτητές ήσαν υποχρεωμένοι να παρακολουθούν ένα βασικό κύκλο μαθημάτων για να λάβουν πτυχίο νομικής, θεολογίας ή ιατρικής. Τα βασικά αυτά μαθήματα περιλάμβαναν τη λογική, την κοσμολογία, τα μαθηματικά και την αστρονομία. Ο πυρήνας της εκπαίδευσης των φοιτητών ήταν τα λογικά, επιστημονικά και φιλοσοφικά έργα του Αριστοτέλη, τα οποία είχαν πλέον αντικαταστήσει τη διδασκαλία της *τετρακτύος*, που ονομαζόταν πια *quadrivium* (αριθμητική, γεωμετρία, μουσική, αστρονομία), και συνιστούσε το πρόγραμμα σπουδών στη διάρκεια του πρώιμου Μεσαίωνα.

2.3.2 Φιλοσοφία και θεολογία

Πολλές από τις αραβικές μεταφράσεις έργων των Αρχαίων Ελλήνων που αποδόθηκαν στα λατινικά ήταν εμποτισμένες με τον προβληματισμό των Αράβων λογίων. Οι Άραβες λόγιοι πρόσθεσαν στη φιλοσοφία του Αριστοτέλη στοιχεία από το Ισλάμ. Ένα από τα πιο σημαντικά ήταν η άρνηση της ελευθερίας της βούλησης. Υπήρχαν, επίσης, απόψεις που υποστήριζαν ότι κάθε ανθρώπινη συμπεριφορά μπορεί να ερ-

μηνευθεί με την αστρολογία. Εδώ θα πρέπει να προστεθεί και η άποψη του Αριστοτέλη, ο οποίος δεν πίστευε στην αθανασία της ψυχής, άποψη η οποία μεταφέρθηκε αυτούσια στα αραβικά κείμενα. Το 12ο και 13ο αι. άρχισαν να διαφαίνονται με σαφήνεια εκείνα τα στοιχεία της αριστοτελικής φιλοσοφίας - όπως αυτή ήρθε στην Ευρώπη δια μέσου των Αράβων - που ήταν αντίθετα προς τη θεολογία της Δυτικής Εκκλησίας. Τα στοιχεία αυτά συνοψίζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Θέσεις της αριστοτελικής φιλοσοφίας	***Αντιθέσεις με τη θεολογία της Δυτικής Εκκλησίας***
Ο κόσμος είναι αιώνιος.	Ουσιαστικά αρνείται τη θέση που αναφέρεται στη δημιουργία του κόσμου από το Θεό.
Η ιδιότητα ενός σώματος δεν είναι δυνατόν να υπάρχει ανεξάρτητα από την υλική υπόστασή του.	Αντιτίθεται στο μυστήριο της Θείας Ευχαριστίας, σύμφωνα με το οποίο οι ιδιότητες του άρτου και του οίνου εξακολουθούν να υπάρχουν και μετά τη μετουσίωσή τους σε σώμα και αίμα του Χριστού.
Οι διαδικασίες της φύσης διέπονται από κανονικότητες που δεν αλλάζουν.	Αμφισβητεί τη δυνατότητα θαυμάτων.
Η ψυχή δεν επιβιώνει μετά το θάνατο του σώματος.	Αντιτίθεται στην αθανασία της ψυχής.

Οι αντιθέσεις φιλοσόφων και θεολόγων οξύνθηκαν ιδιαίτερα το δεύτερο μισό του 13ου αιώνα. Ήδη από το 1231 ο Πάπας Γρηγόριος ο Θ΄ ανακοινώνει ότι πρέπει να διαγραφούν τα λάθη από τα έργα του Αριστοτέλη και διορίζει μια επιτροπή, για να μελετήσει τα έργα και να εντοπίσει τα λάθη. Η επιτροπή δεν καταλήγει σε πόρισμα. Στο μεταξύ, στα Πανεπιστήμια των Παρισίων και της Τουλούζης είχε απαγορευθεί από εκκλησιαστικές συνόδους η διδασκαλία κάποιων τμημάτων από τα έργα του Αριστοτέλη. Σε άλλα πανεπιστήμια, όπως λ.χ. στο Πανεπιστήμιο της Οξφόρδης, δεν υπήρξε παρόμοια απαγόρευση. Τέτοιου είδους απαγορεύσεις, επομένως, δεν ίσχυαν για όλα τα πανεπιστήμια, αλλά μόνο για εκείνα στα οποία δίδασκαν φιλόσοφοι οι οποίοι τόνιζαν τις διαφορετικές απόψεις μεταξύ φιλοσοφίας και θεολογίας με τρόπο συχνά προκλητικό για τους θεολόγους. Δεν ήταν λίγες οι φορές που πολλοί φιλόσοφοι στο Πανεπιστήμιο των Παρισίων έλεγαν δημόσια πως οι θεολογία είναι άχρηστη, πως βασίζεται σε μύθους και πως οι μόνοι σοφοί ήταν οι φιλόσοφοι!

Από το 1255 η απαγόρευση στο Πανεπιστήμιο των Παρισίων άρχισε βαθμιαία να εξασθενεί και τα έργα του Αριστοτέλη έγιναν και πάλι αντικείμενο μελέτης και συζήτησης. Το 1270, όμως, ο επίσκοπος των Παρισίων απαγορεύει τη διδασκαλία 13 προτάσεων του Αριστοτέλη και το 1272 οι καθηγητές του Πανεπιστημίου αναγκάζονται να ορκιστούν ότι δε θα τις διδάσκουν. Το 1277 ο Πάπας Ιωάννης ΚΑ΄ δίνει εντολή στον επίσκοπο των Παρισίων Etienne Tempier (Ετιέν Ταμπιέ) να διερευνήσει την κατάσταση. Μέσα σε τρεις εβδομάδες ο Tempier αποφασίζει πως 219 προτάσεις του ίδιου του Αριστοτέλη ή διαφόρων ερμηνευτών του (μεταξύ των οποίων και αυτές που αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα), αποτελούν αιρετικές προτάσεις και η τιμωρία σε όσους συνέχιζαν να τις μελετούν και να τις διδάσκουν πρέπει να είναι ο αφορισμός. Η νίκη των θεολόγων έναντι των φιλοσόφων στη διαμάχη αυτή αποτέλεσε σοβαρό πλήγμα στην ελεύθερη διακίνηση των ιδεών.

2.3.3 Η θεωρία της κίνησης στον ύστερο Μεσαίωνα

Όπως έχουμε πει, σύμφωνα με τη θεωρία του Αριστοτέλη τα σώματα στη φύση είναι μείγματα των τεσσάρων στοιχείων - της γης, του αέρα, του νερού και της φωτιάς. Σε κάθε σώμα κυριαρχεί κάποιο από τα τέσσερα αυτά στοιχεία το οποίο και καθορίζει τη φυσική κίνησή του. Έτσι, κατά τον Αριστοτέλη, ένα σώμα πέφτει, επειδή στη σύνθεσή του κυριαρχεί ένα από τα βαρέα στοιχεία που το αποτελούν. Στη



Λατινική μετάφραση των φυσικών έργων του Αριστοτέλη από τον Γουλιέλμο του Μέρμπεκε κ.ά., με ελληνικά σχόλια στο περιθώριο. Χειρόγραφο του τέλους του 13ου ή των αρχών του 14ου αιώνα.

Στον Thomas Bradwardine (Μπρεΐντγουαρτάιν, † 1349) οφείλουμε ένα σημαντικό θεώρημα: εντός του κενού, δύο ομογενή σώματα (δηλαδή δύο σώματα από το ίδιο υλικό), διαφορετικού μεγέθους, θα πέφτουν προς τη γη με ίση ταχύτητα. Αυτό ισχύει, επειδή η ταχύτητα ενός σώματος προσδιορίζεται από τη σχετική αναλογία των στοιχείων. Αν, δηλαδή, σε ένα σώμα, η ποσοτική αναλογία βαρέων και ελαφρών στοιχείων είναι διπλάσια σε σχέση με κάποιο άλλο, τότε η αναλογία αυτή θα είναι η ίδια ανεξαρτήτως του μεγέθους του σώματος και, άρα, *ανεξαρτήτως του βάρους του.* Βλέπουμε, δηλαδή, πως σιγά σιγά αρχίζουν να γίνονται τα πρώτα βήματα, που θα οδηγήσουν ύστερα από 250 χρόνια στη διατύπωση του νόμου της ελεύθερης πτώσης από το Γαλιλαίο.

διάρκεια του 12ου και του 13ου αι. η ποιοτική αυτή περιγραφή της κίνησης ποσοτικοποιήθηκε. Αρκετοί λόγιοι πρότειναν τη θεωρία πως αυτό που οδηγεί, λ.χ., στην κίνηση προς τα κάτω είναι η ποσοτική αναλογία των βαρέων προς τα ελαφρά στοιχεία. Έτσι, μπορούσε να ερμηνευθεί όχι μόνο η κίνηση προς τα κάτω αλλά και η ταχύτερη πτώση ορισμένων σωμάτων σε σύγκριση με άλλα. Αν το ένα από δύο σώματα που πέφτουν προς τα κάτω φτάνει πιο γρήγορα στη γη, τότε η αναλογία βαρέων και ελαφρών στοιχείων στο σώμα αυτό θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη αναλογία στο άλλο. Η ποσοτική αναλογία βαρέων και ελαφρών στοιχείων προσδιόριζε, λοιπόν, το ρυθμό της κίνησης κάθε σώματος. Με αυτό τον τρόπο μπορούσε να προσδιοριστεί η κίνηση τόσο ποιοτικά (προς τα κάτω ή προς τα πάνω) όσο και ποσοτικά (πόσο πιο γρήγορα προς τα κάτω ή πόσο πιο γρήγορα προς τα πάνω). Βέβαια, αυτό γινόταν μόνο συγκριτικά, ανάμεσα σε δύο η περισσότερα σώματα, και όχι με απόλυτο τρόπο.

3 ΤΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ ΤΗΣ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗΣ

Την περίοδο της Αναγέννησης συντελέστηκε μια ιστορική διαδικασία που θα μπορούσαμε να την περιγράψουμε ως «ανάκτηση της αρχαίας κληρονομιάς». Βασικό στοιχείο αυτής της διαδικασίας ήταν οι εκδόσεις των αρχαιοελληνικών επιστημονικών και φιλοσοφικών κειμένων και οι μεταφράσεις τους στα λατινικά απευθείας από το πρωτότυπο ελληνικό κείμενο χωρίς τη διαμεσολάβηση των αραβικών μεταφράσεων (όπως γινόταν κατά κανόνα στην περίοδο του ύστερου Μεσαίωνα). Σε ό,τι αφορά την ιστορία των μαθηματικών, αυτό το γεγονός αποτέλεσε τη βασική προϋπόθεση για τη ριζοσπαστική μεταλλαγή που γνώρισε η επιστήμη αυτή στα τέλη του 16ου και σε όλη τη διάρκεια του 17ου αι., αποτέλεσμα της οποίας ήταν η χειραφέτησή της από την αρχαία κληρονομιά και η είσοδός της στη νεότερη εποχή. Αν θα έπρεπε να συνοψίσουμε με λίγα λόγια τα πιο σημαντικά επεισόδια αυτής της μεταλ-

λαγής, θα σημειώναμε: α) τη δημιουργία της συμβολικής άλγεβρας και τη συνακόλουθη μετάβαση από το γεωμετρικό στον αλγεβρικό τρόπο σκέψης, και β) τη δημιουργία του απειροστικού λογισμού με τους δύο κλάδους του, το διαφορικό και τον ολοκληρωτικό λογισμό.

3.1 Η ανάκτηση της αρχαίας κληρονομιάς

Η επιστημονική σκέψη στην Ευρώπη στα τέλη του 15ου και στο πρώτο μισό του 16ου αι. επηρεάζεται από την ανάκτηση της κλασικής (ελληνικής) επιστήμης και τη διάδοση των επιστημονικών γνώσεων σε ευρύτερα στρώματα του πληθυσμού (με την επέκταση της οργανωμένης εκπαίδευσης, την ένταξη των επιστημών σε όλες τις βαθμίδες της και με τη συγγραφή μεγάλου αριθμού εγχειριδίων, τα οποία αρχίζουν πια να συντάσσονται στις εθνικές γλώσσες και όχι μόνο στα λατινικά). Το ίδιο ισχύει και για τα μαθηματικά, τα οποία αρχίζουν να αποκτούν όλο και μεγαλύτερη σημασία στη συνείδηση των ανθρώπων της εποχής.

Το μέσο για την ανάκτηση της αρχαίας ελληνικής κληρονομιάς δεν μπορούσε να είναι άλλο από τις μεταφράσεις. Την περίοδο αυτή υλοποιείται ένα τεράστιο μεταφραστικό πρόγραμμα. Σ' αυτό το μεταφραστικό πρόγραμμα, που διευκολύνθηκε αφάνταστα από την ανακάλυψη της τυπογραφίας, πρωτοστατούν όχι πια ευρυμαθείς λόγιοι (όπως συνέβαινε παλαιότερα, το 12ο και το 13ο αι., με τους μεταφραστές των αραβικών κειμένων) αλλά οι ίδιοι οι μαθηματικοί. Εξάλλου, οι μεταφράσεις γίνονται πλέον από τα πρωτότυπα ελληνικά κείμενα. Από το πλήθος των μεταφραστών της εποχής περιοριζόμαστε να μνημονεύσουμε τους δύο πιο σημαντικούς: τον ελληνικής καταγωγής Francesco Maurolico (Φραγκίσκος Μαυρόλυκος, 1494-1575) και τον Federigo Commandino (Φρειδερίκος Κομμαντίνο, 1509-1575). Ως αποτέλεσμα των μεταφράσεων που εκπόνησαν κυρίως αυτοί οι δύο μεταφραστές, το σύνολο σχεδόν της αρχαίας ελληνικής επιστήμης έγινε πια κτήμα της επιστημονικής κοινότητας που άρχιζε σιγά σιγά να διαμορφώνεται.

3.2 Η δημιουργία της συμβολικής άλγεβρας

Ως τα τέλη του 16ου αι. η άλγεβρα εξακολουθούσε να αναπτύσσεται με κύριες κατευθύνσεις την επίλυση των εξισώσεων με αριθμητικούς συντελεστές ανωτέρου του δευτέρου βαθμού από τη μια πλευρά και τη μεταρρύθμιση του συμβολισμού από την άλλη. Το πιο σημαντικό επίτευγμα σε ό,τι αφορά την πρώτη κατεύθυνση, που σήμανε ταυτόχρονα και το απόγειο της «συγκεκομμένης άλγεβρας», ήταν η επίλυση των



François Viète (1540-1603).

τριτοβάθμιων και τεταρτοβάθμιων εξισώσεων από τους Ιταλούς της σχολής της Βολωνίας Scipione del Ferro (Ντελ Φέρο, 1465-1526), Niccolo Tartaglia (Ταρτάλια, περ. 1500-1577), Gerolamo Cardano (Καρντάνο, 1501-1576) και Ludovico Ferrari (Φεράρι, 1522-1565). Το αποφασιστικό βήμα για τη δημιουργία του μοντέρνου αλγεβρικού συμβολισμού έγινε από το François Viète και ήταν απόρροια της άμεσης ενασχόλησής του με τα αρχαία ελληνικά μαθηματικά, ιδιαίτερα με τα έργα εκείνα στα οποία οι αρχαίοι χρησιμοποιούν τη **μέθοδο της ανάλυσης**.

Οι Αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποιούσαν την ανάλυση ως **ευρετική μέθοδο**, για να επιλύουν αριθμητικά και γεωμετρικά προβλήματα. Όμως, το αριθμητικό ή γεωμετρικό περιεχόμενο μέσα στο οποίο λειτουργούσε η μέθοδος την εμπόδιζε να εμφανίζεται ευκρινής και καθαρή. Η καινοτόμος ιδέα του Viète ήταν, λοιπόν, να αποδεσμεύσει τη μέθοδο από τους αριθμούς και τα σχήματα στα οποία ήταν ενσωματωμένη από τους αρχαίους και να τη μελετήσει, έτσι, απογυμνωμένη από κάθε αριθμητικό ή γεωμετρικό περιεχόμενο. Αυτό το πέτυχε με τη χρήση των γραμμάτων: η αναλυτική μέθοδος δεν εφαρμόζεται από το Viète σε αριθμούς ούτε σε γεωμετρικά σχήματα αλλά σε γράμματα του αλφαβήτου, δηλαδή σε *σύμβολα* που δεν έχουν κανένα αριθμητικό ή γεωμετρικό περιεχόμενο. Με τον τρόπο αυτό ο Viète δημιούργησε μια ***γενική αναλυτική τέχνη***, την οποία ο ίδιος ονομάζει logistica speciosa [λογιστική επί των ειδών] και δεν είναι τίποτα άλλο από αυτό που ονομάζουμε σήμερα Άλγεβρα.

Ερωτήσεις

1) Από τον 3ο μ.Χ. αιώνα και μετά, όταν η ελληνική επιστήμη άρχισε βαθμιαία να παρακμάζει, αναδείχθηκε σε κύρια μορφή επιστημονικής δραστηριότητας η συγγραφή σχολίων στα κλασικά έργα του παρελθόντος. Να αναπτύξετε μερικούς βασικούς λόγους που οδήγησαν στην ανάπτυξη του σχολιαστικού κινήματος και να αναφέρετε τα ονόματα τριών (3) σχολιαστών που έζησαν την περίοδο αυτή.

2) Ο Γάλλος μαθηματικός του 18ου αι. J.-L. Lagrange (Λαγκράνζ, 1736-1813) είχε χαρακτηρίσει το Διόφαντο «πατέρα της άλγεβρας». Λαμβάνοντας υπόψη όσα αναφέρονται στις ενότητες 1.2 και 3.2 αυτού του κεφαλαίου, πώς θα σχολιάζατε αυτόν το χαρακτηρισμό;

3) Να περιγράψετε τις κύριες οδούς δια μέσου των οποίων μεταδόθηκε η αρχαία ελληνική επιστήμη στη λατινική Ευρώπη.

4) Αναφέρεται σήμερα από πολλούς ιστορικούς των επιστημών ότι οι Άραβες υπήρξαν στην επιστήμη μαθητές των Αρχαίων Ελλήνων. Πιστεύετε ότι αυτός ο χαρακτηρισμός είναι δίκαιος; Κατά τη γνώμη σας είναι υποτιμητικό να χαρακτηρίζεται κάποιος «μαθητής» ενός άλλου;

5) Να σχολιάσετε τη σχέση φιλοσοφίας και θεολογίας την περίοδο του Μεσαίωνα.

6) Με τις γνώσεις που έχετε αποκτήσει από την ιστορία των επιστημών αλλά και από όσα γνωρίζετε από την ιστορία γενικότερα, ποιες νομίζετε ότι είναι οι διαφορές ανάμεσα στα μεσαιωνικά και στα σημερινά πανεπιστήμια;

7) Όταν αποκαλούμε σήμερα κάποιον «σχολαστικό», τι εννοούμε; Αναζητήστε την ιστορία της λέξης αυτής και προσπαθήστε να καταλάβετε γιατί πήρε τη συγκεκριμένη σημασία στις μέρες μας. Κάποιος χαρακτηρισμός με περιεχόμενο αρχικά θετικό μπορεί με την πάροδο του χρόνου να αποκτήσει αρνητικό περιεχόμενο; Ισχύει μήπως και το αντίστροφο; Μπορείτε να βρείτε άλλα παραδείγματα;

8) Λέγεται συνήθως ότι το πείραμα όπως το ασκούμε σήμερα (ακριβής περιγραφή της διάταξης, ακριβείς μετρήσεις, ανάλυση των διαφορετικών παραγόντων που επηρεάζουν ένα φαινόμενο κτλ.) καθιερώθηκε το 16ο και το 17ο αιώνα. Αυτό είναι κατά βάση σωστό. Πολλές φορές, όμως, λέγεται πως ούτε στην αρχαιότητα αλλά ούτε και στο Μεσαίωνα υπήρχαν πειράματα. Τι θα είχατε να πείτε για τον ισχυρισμό αυτό; Υπάρχουν διαφορές ανάμεσα στην «παρατήρηση», στην «επίδειξη» και στο «πείραμα»; (*)

Μέρος Δεύτερο: Η Ε π ι σ τ η μ ο ν ι κ ή Ε π α ν ά σ τ α σ η

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΙ ΕΙΝΑΙ Η ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ;

Με τον όρο «Επιστημονική Επανάσταση» δηλώνουμε τα ιστορικά γεγονότα που εκτυλίχθηκαν στην Ευρώπη από τα μέσα του 16ου έως το τέλος του 17ου αι. και οδήγησαν στην πιο βαθιά και επαναστατική μεταλλαγή -ως προς την κατανόηση της φύσης- που γνώρισε η ανθρωπότητα από την εποχή των Αρχαίων Ελλήνων. Συνέπεια αυτής της μεταλλαγής ήταν να αλλάξει ριζικά η επιστημονική και φιλοσοφική σκέψη που επικρατούσε ως τότε στην Ευρώπη και να αρχίσει βαθμιαία να επηρεάζεται η επιστημονική σκέψη σε άλλες περιοχές του κόσμου. Αυτή η μεταλλαγή, που είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας νέας αντίληψης του υλικού σύμπαντος, σήμανε το οριστικό τέλος του Μεσαίωνα και του αρχαίου κόσμου.

1 ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗΣ

Ένα τόσο σημαντικό και πολύπλοκο σύνολο ιστορικών γεγονότων, όπως είναι η Επιστημονική Επανάσταση θα μπορούσαμε να το περιγράψουμε, να το μελετήσουμε και, τελικά, να το κατανοήσουμε με πολλούς και διάφορους τρόπους. Σε μια γενική ιστορία της επιστήμης, όμως, είμαστε αναγκασμένοι να περιοριστούμε στην παρουσίαση των **κύριων χαρακτηριστικών** της νέας κοσμοαντίληψης και των νέων επιστημονικών θεωριών που αναπτύχθηκαν σε αυτή την περίοδο. Έτσι, δε θα αναφερθούμε καθόλου στις μεγάλες κοινωνικές επιπτώσεις αυτών των πνευματικών αλλαγών. Θα προσπαθήσουμε κυρίως μέσα από την ιστορία της μηχανικής και της αστρονομίας, όπου σημειώθηκαν οι πιο δραματικές αλλαγές, να αναδείξουμε τα βασικά δομικά χαρακτηριστικά της μεταλλαγής. Κατά τον ιστορικό και φιλόσοφο της επιστήμης Alexandre Koyré (Αλεξάντρ Κοϋρέ, 1892-1964), ο οποίος ήταν από τους πρώτους που μελέτησαν συστηματικά την Επιστημονική Επανάσταση, αυτά τα χαρακτηριστικά ήταν δύο:

1) η καταστροφή της παλιάς εικόνας του κόσμου και

2) η γεωμετρικοποίηση του χώρου.

Ας δούμε τι ακριβώς σημαίνουν αυτά.

1.1 Η καταστροφή της παλιάς εικόνας του κόσμου

Λέγοντας «καταστροφή της παλιάς εικόνας του κόσμου», ο Koyré εννοεί την καταστροφή της εικόνας του υλικού σύμπαντος που είχε διαμορφωθεί από τη μεσαιωνική-χριστιανική ερμηνεία της αρχαίας ελληνικής σκέψης. Ο παλιός αριστοτελικός κόσμος ήταν ένα πεπερασμένο, κλειστό και ιεραρχημένο σύμπαν. Από την ακίνητη γη, που βρισκόταν στο κέντρο του σύμπαντος, και γενικότερα από την υποσελήνια περιοχή ο άνθρωπος ατένιζε και διαλογιζόταν την απόμακρη τελειότητα και λαμπρότητα των αστέρων και των ουράνιων σφαιρών. Όπως ξέρουμε, βασικό στοιχείο αυτής της εικόνας του κόσμου ήταν η θέση ότι η φύση λειτουργούσε με διαφορετικούς κανόνες στις δύο περιοχές, τη γήινη-υποσελήνια και την ουράνια.



Οι τρεις μεγάλοι αστρονόμοι, Αριστοτέλης, Πτολεμαίος, Κοπέρνικος. Εικόνα από τη σελίδα τίτλου του βιβλίου του Γαλιλαίου Dialogus de Systemate Mundi, *Στρασβούργο, 1635.*

Σύμφωνα με τη νέα αντίληψη, που αντικατέστησε την παλιά, **το σύμπαν είναι ενιαίο και άπειρο, χωρίς ιεραρχικές δομές**. Δεν υπάρχουν πια τέλειες και ατελείς περιοχές, οι ουράνιες σφαίρες έχουν διαλυθεί, το σύνορο των δύο περιοχών έχει καταρρεύσει, ο υλικός κόσμος είναι ένας και ενιαίος. Στο νέο αυτό ενιαίο σύμπαν **η επίγεια φυσική γίνεται** πια, για πρώτη φορά στην ιστορία της ανθρωπότητας, **και ουράνια**, γιατί οι φυσικοί νόμοι που ανακαλύπτονται στη γη ισχύουν για όλο το σύμπαν. Έτσι, μπορεί πλέον να περιγραφεί, λ.χ., η τροχιά που διαγράφει ένα βέλος ή ένα βλήμα με τους ίδιους νόμους που περιγράφουν τις τροχιές των πλανητών.

Παράλληλα με αυτό, οι φυσικοί φιλόσοφοι εστιάζουν το

ενδιαφέρον τους **όχι τόσο στις *πρώτες αιτίες*** των φαινομένων, όπως γινόταν στην αρχαιότητα και στο Μεσαίωνα, αλλά, κυρίως, **στην αναζήτηση των *νόμων*** στους οποίους υπακούουν τα φαινόμενα. Είναι εντελώς διαφορετικό να λέμε ότι ένα σώμα πέφτει προς τα κάτω, επειδή η φυσική θέση του είναι το κέντρο του σύμπαντος, από το να λέμε ότι ένα σώμα πέφτει, επειδή ισχύει ο νόμος της παγκόσμιας έλξης. Στην πρώτη περίπτωση το φαινόμενο της πτώσης το κατανοούμε βάσει μιας *πρώτης αιτίας* που συνίσταται στο ότι τα σώματα αναζητούν *τους φυσικούς τους τόπους*. Στη δεύτερη περίπτωση κατανοούμε την πτώση ως ένα φαινόμενο που υπακούει σε ένα συγκεκριμένο νόμο. Και στις δύο περιπτώσεις μας ενδιαφέρει τόσο το *γιατί* όσο και το πώς πέφτουν τα σώματα. Με τη διαφορά ότι στην πρώτη περίπτωση το ενδιαφέρον επικεντρώνεται *πρωτίστως* στο *γιατί*, ενώ στην δεύτερη στο πώς.

Ταυτόχρονα με τη νέα εικόνα για το σύμπαν διαμορφώθηκαν και οι βασικές αρχές της **νέας επιστημονικής μεθοδολογίας**. Τώρα πια στις φυσικές ερμηνείες χρησιμοποιούνται όλο και λιγότερο αξιολογικές έννοιες, όπως η τελειότητα, η αρμονία, το νόημα και ο σκοπός. Με την Επιστημονική Επανάσταση η ποιοτική μελέτη της φύσης σταδιακά μετατράπηκε σε ποσοτική.

1.2 Η γεωμετρικοποίηση του χώρου

Εξίσου ριζική και επαναστατική ήταν η μεταλλαγή της έως τότε επικρατούσας αντίληψης του ανθρώπου για το χώρο. Ο Koyré ονομάζει τη νέα αντίληψη «γεωμετρικοποίηση του χώρου». Στην αριστοτελική-μεσαιωνική αντίληψη ο χώρος είναι ένα σύνολο διαφοροποιημένων «τόπων» (περιοχών του χώρου που καταλαμβάνουν τα σώματα). Το νέο σύμπαν αποτελείται από έναν ενιαίο, άπειρο και ομογενή χώρο. Αυτόν που ονομάστηκε «ευκλείδειος χώρος», επειδή οι ιδιότητές του μπορούν να περιγραφούν μαθηματικά με βάση την ευκλείδεια Γεωμετρία.

2 ΤΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗΣ

Τα αποτελέσματα των δύο αυτών μεγάλων αλλαγών σε ό,τι αφορά τον τρόπο κατανόησης του υλικού σύμπαντος και του χώρου από τη φυσική φιλοσοφία της εποχής ήταν πολύ σημαντικές. Οι εποπτικές φυσικές επιστήμες μετασχηματίστηκαν σιγά σιγά σε εφαρμοσμένες και λειτουργικές. Ο άνθρωπος μεταμορφώθηκε από θεατή σε εξουσιαστή της φύσης. Ο τελεολογικός και ανιμιστικός τρόπος σκέψης αντικαταστάθηκαν από το μηχανιστικό και αιτιοκρατικό τρόπο σκέψης, που, τελικά, το 18ο αι. οδήγησε στην ολική **μηχανοποίηση της αντίληψης για τον υλικό κόσμο**.

Από τότε, βέβαια, η επιστήμη έκανε νέα βήματα, πολλά από τα οποία θα έχουμε

την ευκαιρία να τα γνωρίσουμε σε επόμενα κεφάλαια· αναπτύχθηκαν νέοι επιστημονικοί κλάδοι, δημιουργήθηκαν νέες φυσικές θεωρίες· νέες έννοιες συνέβαλαν στην κατανόηση του υλικού κόσμου, νέες ανακαλύψεις και εφευρέσεις άλλαξαν την καθημερινή ζωή του ανθρώπου. Όλα αυτά, λοιπόν, που αποτελούν τη «σύγχρονη επιστήμη» είναι καρπός της Επιστημονικής Επανάστασης και αναπτύχθηκαν πρωτίστως πάνω στη μεθοδολογική βάση και στη νέα εικόνα του κόσμου που εκείνη δημιούργησε, νομιμοποίησε και, τελικά, επέβαλε.

Η αναφορά στα γεγονότα που συνέβαλαν στη διαμόρφωση του νέου τρόπου σκέψης - με τον οποίο ο άνθρωπος κατανοεί και μελετά το υλικό σύμπαν που τον περιβάλλει και του οποίου κομμάτι είναι ο ίδιος- αποτελεί ένα από τα πιο σύνθετα αλλά και πιο γοητευτικά κεφάλαια της ιστορίας της ανθρωπότητας. Η σημασία του, όμως, γίνεται ακόμα μεγαλύτερη αν αναλογιστούμε ότι αυτός ο τρόπος σκέψης σήμερα έχει επικρατήσει παγκοσμίως και αποτελεί ένα από τα **ενοποιητικά στοιχεία** του σύγχρονου πολιτισμού.

3 ΠΩΣ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΗΚΕ Η ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ;

Για την περίοδο της Επιστημονικής Επανάστασης διαθέτουμε σήμερα μεγάλο πλήθος ιστορικών στοιχείων. Έτσι, γνωρίζουμε ότι η εντυπωσιακή αυτή μεταλλαγή του ανθρώπινου πνεύματος ορθώθηκε πάνω σε ένα περίπλοκο και πολλές φορές αντιφατικό υπόβαθρο. Η Επιστημονική Επανάσταση δεν αποτελείται μόνο από «λαμπρές και νικηφόρες στιγμές», όπως, λ.χ., εντυπωσιακές ανακαλύψεις, νέες επαναστατικές θεωρίες και πειραματικές επιτυχίες, αλλά περιλαμβάνει και «σκοτεινές σελίδες», όπως καταδίκες στοχαστών, σκληρές αντιπαραθέσεις, επιστημονικά λάθη και ανυποχώρητα ανθρώπινα πάθη. Οι τρόποι που ο άνθρωπος μελετά και κατανοεί το υλικό σύμπαν δε μεταβλήθηκαν ριζικά από τη μια μέρα στην άλλη, ούτε από τον ένα στοχαστή στον άλλο, σαν να τους άγγιξε ένα μαγικό ραβδί. Οι μεγάλες κατακτήσεις του ανθρώπινου πνεύματος στην περίοδο αυτή πραγματοποιήθηκαν μέσα από περίπλοκες, πολλές φορές διαισθητικές, άλλες φορές ανορθολογικές, διανοητικές διεργασίες. Είναι συχνό το φαινόμενο στο έργο του ίδιου στοχαστή να εναλλάσσεται η μαγική και αλχημική παράδοση με τη συστηματική ορθολογική αναζήτηση της λειτουργίας της φύσης, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του Νεύτωνα, ή ο ανιμιστικός με το μηχανιστικό τρόπο σκέψης, όπως συμβαίνει στην περίπτωση του Κέπλερ. Μερικές φορές, φυσικοί νόμοι που εκ των υστέρων αποδείχτηκαν ορθοί προέκυψαν από εσφαλμένους συλλογισμούς, ενώ σε άλλες περιπτώσεις δεν υπήρχαν καν αποδείξεις παρά μόνο διακηρύξεις μεταφυσικών αρχών και εμμονή στην ανακάλυψη των χαρακτηριστικών μιας «κρυμμένης» αρμονίας της φύσης.

Επίσης, η Επιστημονική Επανάσταση δεν οφείλεται μόνο στο έργο μερικών επιφανών στοχαστών. Βέβαια, όπως συμβαίνει σε κάθε μεγάλης κλίμακας φαινόμενο στην ιστορία της επιστήμης, υπήρχαν οι αδιαμφισβήτητοι πρωταγωνιστές, που πραγματοποίησαν με το έργο τους μεγάλες συνθέσεις ή δημιούργησαν μεγάλες τομές, όπως είναι οι Κοπέρνικος, Γαλιλαίος, Κέπλερ, Descartes, Leibniz, Νεύτων. Οι στοχαστές αυτοί, όμως, κατάφεραν ό,τι κατάφεραν αφ' ενός επειδή, όπως είπε ο Νεύτων, «στάθηκαν στους ώμους άλλων γιγάντων», και αφ' ετέρου επειδή εξέφρασαν με το έργο τους την ανάγκη που γεννήθηκε στις συγκεκριμένες ευρωπαϊκές κοινωνίες για μια νέα θέαση και κατανόηση του υλικού σύμπαντος.

Όταν κανείς μελετά μια ιστορική μετάβαση, είναι πάντα δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να πιστέψει ότι εξάντλησε το θέμα ή τα όρια της ερμηνείας. Φαίνεται ότι οι πιο ριζικές αλλαγές της νοοτροπίας, οι πιο σημαντικές μεταστροφές των διανοητικών συνηθειών, μπορούν σε τελευταία ανάλυση να θεωρηθούν αποτελέσματα μεταβολών της αίσθησης που έχουν οι άνθρωποι για τα πράγματα, και οι μεταβολές αυτές είναι τόσο δυσδιάκριτες και ταυτόχρονα τόσο ριζικές και διάχυτες, ώστε δεν μπορούν να αποδοθούν σε συγκεκριμένους συγγραφείς ή σε κάποια συγκεκριμένη επίδραση της ακαδημαϊκής σκέψης.

H. Butterfield (Μπάττερφιλντ), *Η καταγωγή της σύγχρονης επιστήμης* (1980)

Αν θεωρήσουμε συμβατικά το 1543, χρονιά έκδοσης του ***De Revolutionibus***, ως χρονολογία έναρξης των προσπαθειών για τη δημιουργία της νέας φυσικής, και το 1687 ως χρονολογία ολοκλήρωσής τους, τότε που ο Νεύτων δημοσίευσε τη μεγαλειώδη σύνθεση με τον τίτλο *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* [Μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας], χρειάστηκαν 144 χρόνια για να ολοκληρωθεί αυτή η ριζική επανάσταση. Το χρονικό διάστημα είναι μικρό, αν σκεφθούμε το μέγεθος του αποτελέσματος. Προτάθηκαν νέες μεθοδολογίες (λ.χ. η αναζήτηση των φυσικών νόμων και όχι των γενεσιουργικών αιτίων), παλιές έννοιες απέκτησαν νέο περιεχόμενο (ορμή, επιτάχυνση), νέες έννοιες δημιουργήθηκαν (όπως η έννοια της αδράνειας), ανακαλύφθηκαν και μελετήθηκαν συστηματικά νέα φυσικά φαινόμενα, εφευρέθηκαν νέες υπολογιστικές μέθοδοι, και ενοποιήθηκαν η «γήινη» με την «ουράνια» φυσική.

Στα επόμενα κεφάλαια θα παρουσιάσουμε τους πρωταγωνιστές αυτής της μεγάλης μεταλλαγής και τα σπουδαιότερα επιτεύγματα τους.

ΝΕΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΤΟ 16ο ΚΑΙ 17ο ΑΙΩΝΑ

Οι εξελίξεις στις μεθόδους της τυπογραφίας, η βελτίωση των μεθόδων κατασκευής χαρτών, η δημιουργία ακριβέστερων μηχανισμών για τη μέτρηση του χρόνου ήταν ορισμένα από τα σημαντικά τεχνολογικά επιτεύγματα της περιόδου που εξετάζουμε σε αυτό το κεφάλαιο.

Ο Leonardo da Vinci (Λεονάρντο ντα Βίντσι, 1452-1519) ενσαρκώνει τον καινοτόμο εφευρέτη που επινοεί συνεχώς νέες κατασκευές, αλλά, συγχρόνως, και τον πρακτικό μηχανικό που προσπαθεί να θέσει τις κατασκευές του στην υπηρεσία του ανθρώπου. Στην προσπάθειά του να κατασκευάσει μηχανές που θα βοηθούσαν τον άνθρωπο να πετάξει, έκανε λεπτομερείς παρατηρήσεις της κίνησης των πουλιών σε πτήση και οδηγήθηκε στην κατασκευή μοντέλων σε κλίμακα. Ήταν, ως γνωστόν, ένας από τους σημαντικότερους ζωγράφους της Αναγέννησης, δεν αρκούνταν όμως στην παρατήρηση της φύσης και των ανθρώπων, όταν επρόκειτο να ζωγραφίσει. Προσπαθούσε να καταλάβει τι υπήρχε «πίσω», από αυτά που ζωγράφιζε και, έτσι, μελέτησε την ανατομία, ασχολήθηκε με την οπτική και με τα φυτά και, όπως συμπεραίνουμε από τις σχετικές μελέτες του, εκδήλωσε ενδιαφέρον για την κίνηση και τη δύναμη.

Το 16ο και στις αρχές του 17ου αι. δε συναντάμε νέες εντυπωσιακές εφευρέσεις. Γεγονός ήταν, όμως, η εξάπλωση της τεχνολογίας και τεχνογνωσίας τόσο γεωγραφικά όσο και ως προς τον αριθμό των ανθρώπων που τη χρησιμοποιούσαν. Άρχισε να γίνεται κοινή συνείδηση ότι αν ο άνθρωπος κατανοήσει τη φύση, θα μπορέσει να τη θέσει υπό τον έλεγχό του· η γνώση που θα αποκτηθεί μπορεί να φέρει ευεργετικά αποτελέσματα σε όποιον την αξιοποιήσει.

Πολλοί θεωρούν πως η τεχνολογία είναι απλώς η εφαρμογή των επιστημονικών γνώσεων. Ορισμένες φορές αυτό είναι σωστό. Συχνά, όμως, η τεχνολογία είναι η συσσώρευση των εμπειρικών γνώσεων και των τεχνικών που αναπτύσσονται, στις οποίες πολύ αργότερα δίδεται το απαραίτητο επιστημονικό υπόβαθρο. Έτσι, οι συντεχνίες τεχνιτών, που χρονολογούνται από το Μεσαίωνα, έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη διάδοση αυτών των τεχνικών. Σημαντικό, επίσης, ρόλο έπαιξαν και οι επιστημονικές ακαδημίες, που ιδρύονται στη διάρκεια του 17ου αιώνα. Οι πιο γνωστές, η Βασιλική Εταιρεία του Λονδίνου και η Ακαδημία Επιστημών στο Παρίσι, γίνονται χώροι συνάντησης και συζητήσεων ανάμεσα στους επιστήμονες· στις επιστημονικές ακαδημίες «κατοχυρώνονται» οι νέες εφευρέσεις, στους χώρους όπου στεγάζονται γίνονται πειράματα που αναδεικνύουν νέα φαινόμενα, πολλές φορές δε τα πειράματα γίνονται μπροστά σε ακροατήρια που απαρτίζονται από πολίτες οι οποίοι δεν είναι επιστήμονες. Οι ακαδημίες αυτές υπήρξαν ως ένα βαθμό ο ενδιάμεσος κρίκος ανάμεσα στις επιστήμες και στις εφαρμογές τους για πρακτικούς σκοπούς.

Ένα από τα προβλήματα για τα οποία δεν υπήρχαν ικανοποιητικές λύσεις ήταν η αδυναμία άντλησης νερού από βάθος μεγαλύτερο των 10-12 μέτρων. Αυτό ήταν γνωστό στους μεταλλωρύχους και τους κατασκευαστές πηγαδιών, αλλά δεν είχε απασχολήσει

τους επιστήμονες. Ο Γαλιλαίος πίστευε ότι το νερό δεν αντέχει το δικό του βάρος, όταν είναι σε ύψος μεγαλύτερο των 10 μέτρων. Ο μαθητής του Γαλιλαίου Evangelista Torricelli (Ευαγγελίστα Τορικέλι, 1608-1647) επινόησε το πείραμα με τη στήλη υδραργύρου. Πήρε ένα δοκιμαστικό σωλήνα και τον γέμισε με υδράργυρο. Κρατώντας το στόμιο κλειστό έβαλε το δοκιμαστικό σωλήνα με το στόμιο προς τα κάτω μέσα σ' ένα δοχείο γεμάτο υδράργυρο κι όταν απελευθέρωσε το στόμιο παρατήρησε πως ο υδράργυρος στο δοκιμαστικό σωλήνα ήταν πάντοτε σε ύψος περίπου 75 εκατοστών, ανεξαρτήτως του μήκους και του πάχους του δοκιμαστικού σωλήνα. Ο Torricelli θεώρησε πως ο λόγος που ο υδράργυρος είχε πάντοτε το ίδιο ύψος είναι η πίεση της ατμόσφαιρας. Συμπέρανε, λοιπόν, πως μία τέτοια διάταξη θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι λειτουργεί ως βαρόμετρο - ότι μετράει, δηλαδή, κάποιο βάρος, το οποίο στην προκειμένη περίπτωση είναι το βάρος της ατμόσφαιρας. Λίγο αργότερα, ο Blaise Pascal (Μπλεζ Πασκάλ, 1623-1662) επιβεβαίωσε την ορθότητα της ερμηνείας του Torricelli, όταν επανέλαβε το πείραμα σε ένα βουνό και βρήκε πως το ύψος της στήλης είχε ελαττωθεί, αφού τώρα η ατμόσφαιρα ζύγιζε λιγότερο.

Ο Otto von Guericke (Όττο φον Γκέρικε, 1602-1686) κατασκεύασε δύο ημισφαίρια, τα ένωσε σε σχήμα σφαίρας και αφαίρεσε τον αέρα από το εσωτερικό. Τα δύο ημισφαίρια δεν είχαν κολληθεί ούτε βιδωθεί μεταξύ τους. Όταν άδειασε ο αέρας, δεν ήταν δυνατόν να αποχωριστούν· ο von Guericke χρησιμοποίησε δεκαέξι άλογα, για να μπορέσει να τα χωρίσει, αλλά δεν τα κατάφερε. Με αυτόν τον τρόπο θέλησε να δείξει τη μεγάλη δύναμη που «κρύβει« η δημιουργία κενού. Οι διαδικασίες δημιουργίας κενού, τις οποίες ανέπτυξαν στη συνέχεια ο R. Boyle (Μπόιλ, 1627-1691) και ο R. Hooke (Χουκ, 1635-1703), οδήγησαν στην τελειοποίηση των αντλιών νερού. Αυτό είχε σημαντικότατες επιπτώσεις στην αύξηση της παραγωγής από τα ορυχεία.

Ερωτήσεις

1) Γιατί θεωρούμε ότι η Επιστημονική Επανάσταση οδήγησε στην πιο βαθιά και επαναστατική μεταλλαγή στην κατανόηση της φύσης που γνώρισε η ανθρωπότητα από την εποχή των Αρχαίων Ελλήνων;

2) Ποια είναι τα κύρια χαρακτηριστικά της Επιστημονικής Επανάστασης;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Η ΓΗ «ΑΡΧΙΖΕΙ ΝΑ ΚΙΝΕΙΤΑΙ»

1 Η ΗΛΙΟΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΚΟΠΕΡΝΙΚΟΥ

Το έτος 1543 δημοσιεύτηκε ένα βιβλίο με τον τίτλο *De Revolutionibus Orbium Celestium* [Περί της περιστροφής των Ουράνιων Σφαιρών], που ο συγγραφέας του Nicolas Copernicus (Νικόλαος Κοπέρνικος) το προετοίμαζε και το επεξεργαζόταν για πολλές δεκαετίες. Στο δυσνόητο αυτό βιβλίο, που σήμερα θεωρούμε ότι αποτέλεσε την τελευταία έκφραση της πτολεμαϊκής αστρονομίας και, ταυτόχρονα, τον προάγγελο της Επιστημονικής Επανάστασης, παρουσιάστηκε για πρώτη φορά στη νεότερη εποχή η ολοκληρωμένη προσπάθεια μαθηματικής θεμελίωσης μιας θεωρίας που έμελλε να αλλάξει ριζικά την εικόνα μας για τη λειτουργία του σύμπαντος και τη θέση της γης και του ανθρώπου σ' αυτό.

Στο βιβλίο ο Κοπέρνικος ανέτρεπε εκ βάθρων την καθιερωμένη και γενικά αποδεκτή τότε εικόνα του σύμπαντος. Σύμφωνα με τη θεωρία του, η γη δεν ήταν το ακίνητο κέντρο του κόσμου αλλά ένας πλανήτης σαν όλους τους άλλους. Επομένως, δε βρισκόταν ακίνητη στο κέντρο του σύμπαντος, αλλά περιστρεφόταν καθημερινά γύρω από τον άξονα της και ταυτόχρονα περιφερόταν γύρω από τον ήλιο, εκτελώντας μια πλήρη περιφορά σε ένα έτος. Αντίθετα, ακίνητος κοντά στο κέντρο του ηλιακού συστήματος, στο κέντρο σχεδόν των κυκλικών τροχιών των περιφερόμενων πλανητών, βρισκόταν ο ήλιος, που μέχρι τότε θεωρούνταν ότι περιστρέφεται σε μία από τις ουράνιες σφαίρες.

Η ιδέα του Ηλιοκεντρισμού δεν ήταν καινούρια, ο τρόπος διαπραγμάτευσής της όμως από τον Κοπέρνικο ήταν, και έμελλε μακροπρόθεσμα να αποδειχθεί επαναστατικός. Σήμερα γνωρίζουμε ότι τα αποτελέσματα της θεωρίας του Κοπέρνικου στην επιστήμη και στη φιλοσοφία ήταν τεράστια. Μετακίνησε τη γη από το κέντρο του σύμπαντος και τη μετέτρεψε σε έναν ακόμα πλανήτη, υπονομεύοντας έτσι τα θεμέλια της ιεραρχικής δομής που είχε ο αριστοτελικός κόσμος, αμφισβητώντας τα σύνορα ανάμεσα στην ουράνια επικράτεια των αναλλοίωτων και αιώνιων υπάρξεων και στη γήινη-υποσελήνια περιοχή της αλλαγής και της φθοράς.

1.1 Ο Κοπέρνικος και η παράδοση του ηλιοκεντρισμού



Νικόλαος Κοπέρνικος (1473-1543).

Ποια ήταν η σχέση της νέας θεωρίας με τις παλαιότερες αρχαιοελληνικές ηλιοκεντρικές θεωρίες; Η θεωρία του Κοπέρνικου ήταν άραγε μια απλή επανάληψή τους ή μήπως εμπεριείχε χαρακτηριστικά που την καθιστούσαν κάτι το νέο; Όπως γνωρίζουμε, και άλλοι στοχαστές είχαν εκφράσει στο παρελθόν σκέψεις ανάλογες με αυτές του Κοπέρνικου. Ωστόσο η γεωμετρική διατύπωση της ηλιοκεντρικής υπόθεσης, με βάση την οποία μπορούσε κανείς να υπολογίσει τις τροχιές και τις θέσεις των ουράνιων σωμάτων, δεν είχε επιχειρηθεί από κανέναν άλλο στοχαστή πριν απ' τον Κοπέρνικο. Όπως παρατηρεί ο ιστορικός της επιστήμης I.B. Cohen (Κοέν), «το De Revolutionibus *περιείχε την πληρέστερη παρουσίαση ενός ηλιοστατικού σύμπαντος που είχε ποτέ επιχειρηθεί και πρότεινε πολλές νέες και ουσιαστικές ιδέες για τους τότε ειδικούς στην αστρονομία και τους κοσμολόγους*».

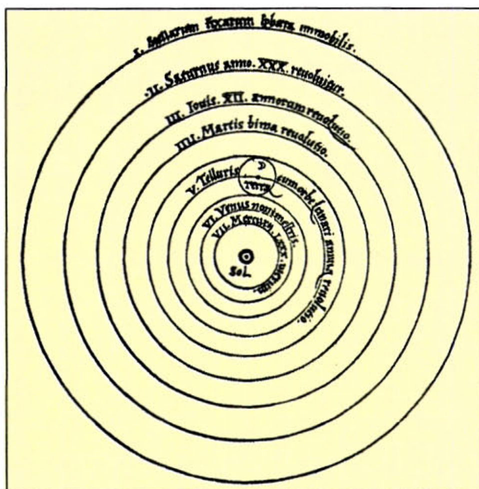
Η μεγάλη σημασία του έργου του Κοπέρνικου συνίσταται στο ότι οδήγησε σε μια αλληλουχία γεγονότων με τελικό αποτέλεσμα να πεισθούν οι άνθρωποι για την αλήθεια μιας κατάστασης (ότι η γη κινείται), η οποία έρχεται σε αντίθεση με όλες τις εμπειρίες και τις αισθήσεις τους.

1.2 Το έργο «Περί της περιστροφής των Ουράνιων Σφαιρών»

Το έργο του Κοπέρνικου χωρίζεται σε έξι μέρη ή «βιβλία». Ο συγγραφέας του επιθυμούσε η δομή του να είναι σχεδόν όμοια με τη *Μεγίστη*, και γι' αυτό άλλωστε έχει αποκληθεί «ο τελευταίος πτολεμαϊκός αστρονόμος».

Στο πρώτο μέρος εκτίθεται μια γενική περιγραφή του συστήματος του κόσμου, κέντρο του οποίου δεν είναι πια η γη αλλά ο ήλιος. Τα κύρια χαρακτηριστικά του συστήματος αυτού είναι τα εξής: η γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της και η κίνηση αυτή δημιουργεί την εντύπωση της καθημερινής περιστροφής του στερεώματος, η οποία είναι φαινόμενη και όχι πραγματική. Επίσης, η γη περιφέρεται γύρω από κάποιο κέντρο, που βρίσκεται κοντά στον ακίνητο ήλιο. Επομένως, η φαινόμενη ετήσια κίνηση του ήλιου δεν είναι παρά το αποτέλεσμα της περιφοράς της γης. Τέλος, οι φαινόμενες ορθοδρομήσεις και αναδρομήσεις των πλανητών (βλ. κεφά-

λαιο 2, ενότητα 3.1) είναι το αποτέλεσμα που προκύπτει από τη δική τους περιφορά γύρω από τον ήλιο σε συνδυασμό με την περιφορά της γης. Η απόσταση κάθε πλανήτη από τον ήλιο είναι διαφορετική, αλλά πολύ μικρή σε σχέση με την απόσταση που χωρίζει τη γη από τους απλανείς αστέρες.



Το ηλιακό σύστημα κατά τον Κοπέρνικο. Σχήμα από την πρώτη έκδοση του De Revolutionibus *(1543).*

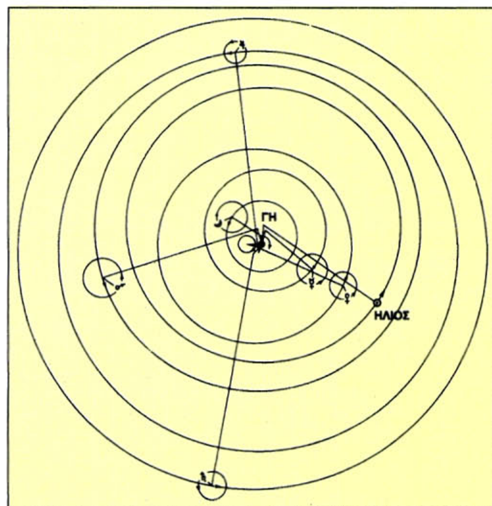
Το δεύτερο μέρος περιέχει έναν αστρικό κατάλογο, στον οποίο ο Κοπέρνικος είχε περιλάβει παρατηρήσεις και μετρήσεις των αρχαίων αλλά και νεότερων αστρονόμων.

Τέλος, τα υπόλοιπα τέσσερα μέρη περιέχουν λεπτομερείς εκθέσεις γεωμετρικών και τριγωνομετρικών μεθόδων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη των θέσεων των πλανητών, της γης και της σελήνης.

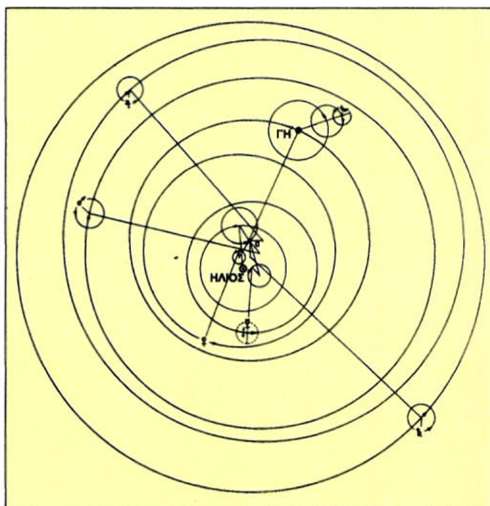
Από τα περιεχόμενα γίνεται σαφές ότι το έργο αυτό είναι μια εξαιρετικά λεπτομερής διατύπωση ενός νέου συστήματος του κόσμου, με την κατάλληλη γεωμετρική μορφή που θα του επιτρέψει να υποκαταστήσει την πτολεμαϊκή *Μεγίστη.* Δεν είναι, επομένως, μια απλή εμπειρική περιγραφή ενός ηλιοκεντρικού συστήματος, όπως λαθεμένα μερικές φορές παρουσιάζεται, ούτε μια απλή επανάληψη ορισμένων γενικών μεταφυσικών δοξασιών των Πυθαγορείων, του Αρίσταρχου και άλλων αρχαίων φιλοσόφων. Γνωρίζουμε ότι ο Κοπέρνικος δεν υπήρξε παρατηρητής αστρονόμος και δε μελέτησε συστηματικά τους ουρανούς· αντίθετα, είχε υπερβολική εμπιστοσύνη στις παρατηρήσεις που είχαν συλλέξει οι παλαιότεροι και ιδιαίτερα ο Πτολεμαίος. Αυτό που επεδίωξε με πάθος ήταν η δημιουργία ενός νέου συστήματος που θα μπορούσε να ενσωματώσει αρμονικά όλες τις παλιές παρατηρήσεις, αλλά θα διατηρούσε χωρίς κανένα συμβιβασμό το δόγμα της ανάλυσης της κίνησης των πλανητών σε ομαλές κυκλικές κινήσεις, αποκλείοντας την ανάγκη χρήσης του «εξισωτή».

Ο Κοπέρνικος κατάφερε να διακρίνει ότι εφόσον η γη κινείται γύρω από τον ήλιο, μια σειρά κύκλοι του πτολεμαϊκού συστήματος ήταν περιττοί. Ενώ, λοιπόν, αποδέχτηκε την ύπαρξη του ίδιου ουράνιου μηχανισμού που κληροδότησε η αρχαιότητα, μετέτρεψε τους ρόλους της γης και του ήλιου και αντάλλαξε τη θέση ορισμένων κύκλων. Στη μακρά ιστορική πορεία του το πτολεμαϊκό σύστημα αποκτούσε συνεχώς νέους κύκλους και το σύνολό τους, προκειμένου να επιλυθούν όλα τα υπό

εξέταση αστρονομικά φαινόμενα, είχε φτάσει στον αριθμό ογδόντα. Ο Κοπέρνικος περιόρισε τον αριθμό των κύκλων από ογδόντα σε τριάντα τέσσερις, ενώ ταυτόχρονα κατάφερε - έστω ατελώς - να περιγράψει τις κινήσεις των πλανητών με ένα «γνησιότερο» σύστημα ομαλής κυκλικής κίνησης, χωρίς τη χρήση διαφόρων τεχνασμάτων, που είχαν αναπτυχθεί στο πλαίσιο του πτολεμαϊκού συστήματος.



Το Πτολεμαϊκό σύστημα. Διακρίνονται οι φέροντες κύκλοι και οι επίκυκλοι. Στο κέντρο βρίσκεται η γη.



Το Κοπερνίκειο σύστημα στην αρχική μορφή του ήταν εξίσου σύνθετο με το πτολεμαϊκό. Έχουν διατηρηθεί οι επίκυκλοι, αλλά στο κέντρο βρίσκεται ο ήλιος.

2 ΟΙ ΑΔΥΝΑΜΙΕΣ ΤΗΣ ΚΟΠΕΡΝΙΚΕΙΑΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

Σήμερα γνωρίζουμε ότι το ηλιοκεντρικό σύστημα του Κοπέρνικου δεν κατάφερε να ενσωματώσει αρμονικά και πειστικά όλες τις παλιές παρατηρήσεις, δεν κατάφερε καν για αρκετές δεκαετίες να φτάσει τις υπολογιστικές δυνατότητες του πτολεμαϊκού συστήματος. Ειδικά σε ό,τι αφορά τη φαινόμενη τροχιά του Άρη το σύστημα ήταν τόσο μακριά από μια σωστή απάντηση, ώστε ο Γαλιλαίος, χρόνια αργότερα, επαινεί τον Κοπέρνικο «γιατί η δυσκολία αυτή δεν τον έκανε να εγκαταλείψει τη θεωρία του». Επομένως, στην πρώτη αυτή μορφή του, το σύστημα του Κοπέρνικου ήταν ένα σύστημα ποιοτικά πιο κοντά στην αληθινή δομή του ηλιακού συστήματος αλλά ατελέστερο ως προς τις υπολογιστικές δυνατότητες του από το πτολεμαϊκό. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι κύριο μέλημα του δημιουργού του *De Revolutionibus* ήταν η επιστροφή στην «ορθοδοξία», η «ορθή» εφαρμογή της αρχής των κυκλικών κινήσεων στο πλαίσιο του παλαιού μηχανισμού των ουράνιων κινήσεων. Γι' αυτό το λόγο το

έργο θεωρείται συχνά όχι ως το πρώτο μιας νέας εποχής, αλλά ως το τελευταίο έργο που βασίζεται στην παράδοση της αρχαιοελληνικής αντίληψης για το σύμπαν.

2.1 Η ασυμβατότητα της κοπερνίκειας θεωρίας με την αριστοτελική φυσική

Η «ηλιοκεντρική» θεωρία του Κοπέρνικου δεν ήταν δυνατόν από μόνη της να υποκαταστήσει το πτολεμαϊκό σύστημα. Η νέα εικόνα του σύμπαντος, εκτός από το πλήθος των θεολογικών και των φιλοσοφικών προβλημάτων που, όπως θα δούμε στη συνέχεια, δημιουργούσε, δεν ήταν συμβατή με την αριστοτελική φυσική. Το έργο του Κοπέρνικου όχι μόνο στερούσε από τον άνθρωπο το προνόμιό του να βρίσκεται στο κέντρο του σύμπαντος, αλλά τόσο με την υπόθεση της ημερήσιας περιστροφής όσο και με εκείνη της ετήσιας περιφοράς της γης ερχόταν σε αντίθεση με την καθημερινή εμπειρία και γεννούσε μια σειρά από αναπάντητα φυσικά προβλήματα.

Στην πραγματικότητα το *De Revolutionibus*, στο όνομα της αριστοτελικής φυσικής, επανέφερε με πιεστικό τρόπο προβλήματα που θα οδηγούσαν στην τελική ρήξη με αυτήν. Η φυσική του Αριστοτέλη κυριαρχούσε επί δύο περίπου χιλιετίες και θεωρούνταν ως το πιο κατάλληλο όργανο για τη μελέτη και κατανόηση της φύσης. Ήταν πράγματι μια αποτελεσματική φυσική, ικανή να δίνει ορθολογικές ερμηνείες για τον κόσμο, οι οποίες βασίζονταν σε συνεκτικές και λεπτοδουλεμένες περιγραφές των φυσικών φαινομένων.

Ταυτόχρονα, η φυσική αυτή διέθετε τεράστια πλεονεκτήματα σε φιλοσοφικό και σε θεολογικό επίπεδο, γιατί η ιεραρχική δομή και η λειτουργία που προέβλεπε για τον κόσμο ήταν εύκολα αποδεκτές και μπορούσαν να ενσωματωθούν από διάφορα είδη θεολογικής σκέψης. Επομένως, η αντικατάστασή της από κάποια άλλη φυσική, που θα μπορούσε να ενσωματώσει στις ερμηνείες της τη νέα εικόνα του κόσμου - κυρίως ένα ηλιοκεντρικό μοντέλο του σύμπαντος - ήταν μια εξαιρετικά πολύπλοκη διαδικασία, που ξεπερνούσε κατά πολύ τα όρια της επιστημονικής κοινότητας έχοντας τεράστιες κοινωνικές, φιλοσοφικές και θεολογικές προεκτάσεις.

2.2 Τα προβλήματα που ζητούσαν λύση

Το κοπερνίκειο σύστημα έθετε μια σειρά προβλημάτων στην αριστοτελική αντίληψη του κόσμου, δύο από τα οποία στα χρόνια που ακολούθησαν την έκδοση του *De Revolutionibus* απέκτησαν ιδιαίτερη σημασία:

Α) *Το πρόβλημα των τροχιακών κινήσεων των πλανητών*, στο οποίο εντάσσονταν

ερωτήματα του τύπου: ποια αιτία διατηρεί σε κίνηση στις τροχιές τους τη γη και τους άλλους πλανήτες; Ποιος είναι ο λόγος που δεν περιπλανώνται τυχαία στο άπειρο σύμπαν, αφού το σύστημα των ουράνιων σφαιρών δεν υπάρχει; Ποιοι είναι οι νόμοι αυτής της κίνησης; Γιατί η γη να περιστρέφεται, ενώ ταυτόχρονα περιφέρεται;

Β) *Το πρόβλημα της γήινης βαρύτητας*, στο οποίο εντάσσονταν ερωτήματα του τύπου: Γιατί τα σώματα πέφτουν στη γη (τείνουν προς το κέντρο της), αφού το κέντρο αυτό όχι μόνο δεν είναι πια το κέντρο του σύμπαντος, αλλά δεν έχει ούτε σταθερή θέση; Τι είναι αυτό που οδηγεί τα σώματα στην πτώση αυτή, εάν δεν είναι κάποια εσωτερική παρόρμηση τους;

Με τα δύο αυτά προβλήματα συνδέεται μια σειρά από άλλα εξίσου ουσιαστικά: τι μας συγκρατεί στην κινούμενη γη και δεν εκσφενδονιζόμαστε στον αέρα; Γιατί η γη δεν κομματιάζεται από το στριφογύρισμα; Γιατί ο ήλιος δεν περιφέρεται, αφού κι αυτός είναι μια σφαίρα;

2.3 Μια ερμηνευτική προσέγγιση

Από τα παραπάνω προκύπτουν για την ιστορία της επιστήμης τα εξής ερωτήματα: Ποια μπορεί να ήταν η κινητήρια ιδέα του δημιουργού του ηλιοκεντρικού συστήματος; Τι ήταν αυτό που οδήγησε τον Κοπέρνικο σε μια σκληρή προσπάθεια δεκαετιών, προκειμένου να διατυπώσει γεωμετρικά μια ιδέα που επανειλημμένα είχε απορριφθεί στο παρελθόν από τα κύρια ρεύματα της ελληνικής και της μεσαιωνικής φιλοσοφίας ως «ασεβής» και αντίθετη προς τη φύση των πραγμάτων και την καθημερινή εμπειρία;

Ας προσπαθήσουμε πρώτα να κατανοήσουμε, όσο αυτό είναι δυνατόν, ποια κινητήρια δύναμη κράτησε άσβεστη τη φιλοδοξία του Κοπέρνικου, ώστε, παρά τις φαινομενικά αξεπέραστες δυσκολίες, να συνεχίσει την προσπάθειά του για δεκαετίες. Όπως φαίνεται, το μοναδικό στήριγμά του ήταν το ανυποχώρητο πείσμα του και η απόλυτη πίστη στη δυνατότητα να θεμελιώσει μια νέα, «πραγματική» τάξη του κόσμου, με βάση το τέλειο σχήμα, τον κύκλο, και τον ακίνητο «*Λύχνο, Νου και Κυβερνήτη του Σύμπαντος*», όπως ο ίδιος χαρακτήριζε τον ήλιο, στο κέντρο του. Η πίστη αυτή αποτέλεσε τη βάση της ακλόνητης εμμονής του να ανακαλύψει και να επεξεργαστεί λεπτομερώς, με μαθηματικό τρόπο, τη λειτουργία των ουρανών, με βάση μια υπόθεση (τη χρήση «γνήσιων» ομαλών κυκλικών κινήσεων) που θα αποκαθιστούσε την «πραγματική» εικόνα του κόσμου, την οποία το πτολεμαϊκό σύστημα είχε συσκοτίσει (με την εισαγωγή και χρήση των εξισωτών).

Πίστευε, άραγε, ο Κοπέρνικος ότι το σύστημά του αντανακλούσε τη φυσική πραγ-

ματικότητα; Ορισμένοι ιστορικοί της επιστήμης δίνουν καταφατική απάντηση σε αυτό το ερώτημα, ενώ άλλοι θεωρούν ότι ο Κοπέρνικος πρότεινε το σύστημά του ως μια μαθηματική υπόθεση που απλούστευε τους υπολογισμούς.

2.4 Ο αδύνατος κρίκος της αριστοτελικής φυσικής - Η θεωρία της κίνησης

Θα πρέπει να προσέξουμε ότι όλα σχεδόν τα προβλήματα που προκαλούνται στην αριστοτελική φυσική από το κοπερνίκειο σύστημα συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με την κίνηση των σωμάτων στη γη ή στον ουρανό. Δηλαδή, αποκαλύπτουν όλες τις αδυναμίες και τις αντιφάσεις που εμπεριείχε η αριστοτελική θεωρία της κίνησης. Δεν είναι λοιπόν περίεργο το γεγονός ότι όλη η προσπάθεια - που θα ξεκινήσει από τις αρχές του 17ου αι.- για τη δημιουργία της νέας φυσικής θα περιστραφεί γύρω από προβλήματα της κίνησης και της δυναμικής. Σε αυτούς ακριβώς τους τομείς θα συντελεστούν οι μεγάλες και εντυπωσιακές εννοιολογικές μετατοπίσεις στο πνεύμα των επιστημόνων. Θα πρέπει, επίσης, να κατανοήσουμε ότι τέτοια προβλήματα δεν παρουσιάστηκαν τότε για πρώτη φορά στην ιστορία της επιστημονικής σκέψης. Ορισμένα τα αναφέρει ο ίδιος ο Αριστοτέλης αλλά τα χρησιμοποιεί ως επιχειρήματα υπέρ των θεωριών του. Η εντυπωσιακή αλλαγή που συμβαίνει στο τελευταίο μισό του 16ου αι. είναι ότι τέτοιου είδους προβλήματα επανεξετάζονται συστηματικά και η αμφισβήτηση των αριστοτελικών θέ-

Ο ίδιος ο Κοπέρνικος είχε απόλυτη συνείδηση του μεγέθους των προβλημάτων που έθετε η θεωρία του. Προσπάθησε, λοιπόν, να αντλήσει από την πυθαγόρεια παράδοση κάποια επιχειρήματα, για να στηρίξει την ορθότητά της χωρίς όμως, βέβαια, να μπορέσει να αναπτύξει ένα νέο ερμηνευτικό μοντέλο που θα υποκαθιστούσε το αριστοτελικό. Υποστήριξε, ως βασικές αρχές, ότι «η περιστροφή είναι φυσική κατάσταση σε μια σφαίρα» και ότι η βαρύτητα δεν οφείλεται στην κίνηση των σωμάτων προς κάποιο κέντρο αλλά «στην προδιάθεση της ύλης να συγκροτείται σε σφαίρα». Αυτό ερχόταν σε αντίθεση με την αριστοτελική αντίληψη ότι η γη έγινε σφαιρική εξαιτίας ακριβώς της τάσης της ύλης να συγκεντρώνεται πιο κοντά στο κέντρο της.

Επιχειρήματα αυτού του είδους, που αντλούσαν την καταγωγή τους από τους Πυθαγόρειους και από άλλους Αρχαίους Έλληνες φιλόσοφους, δεν μπορούσαν βέβαια να ανατρέψουν τις παγιωμένες αριστοτελικές θέσεις, συνέβαλαν όμως στην υπονόμευση του κύρους τους, αφού έφερναν στο προσκήνιο άλλες πλευρές της αρχαιοελληνικής σκέψης αντίθετες προς τον αριστοτελισμό, που δεν ήταν ευρύτερα γνωστές στους ευρωπαίους στοχαστές στη διάρκεια του Μεσαίωνα. Μέσα από την προβολή απόψεων άλλων Αρχαίων Ελλήνων φιλοσόφων γινόταν ευρύτερα κατανοητό και αποδεκτό ότι ***ακόμη και στην εποχή του ο Αριστοτέλης είχε αμφισβητηθεί***.

σεων, που είχε ξεκινήσει τον 14ο αι. (βλ. κεφ. 3, ενότητα 2.3.3), αρχίζει να αποκτά ισχυρές βάσεις στον κύκλο των Ευρωπαίων στοχαστών. Αξίζει να σημειωθεί δε ότι η επανεξέταση των αριστοτελικών θέσεων δεν προέκυψε ως αποτέλεσμα νέων ανακαλύψεων ή παρατηρήσεων, αλλά ήλθε ως φυσικό επακόλουθο ενός νέου κλίματος αμφισβήτησης των αυθεντιών, το οποίο είχε αρχίσει να διαμορφώνεται.

Όμως, παρά την αποδυνάμωσή της, παρά τη διάχυτη αμφισβήτηση της ορθότητάς της, η αριστοτελική φυσική εξακολουθούσε να παραμένει το μοναδικό ενιαίο και λογικά συνεπές σύστημα ερμηνείας του φυσικού κόσμου. Αυτό είναι απόλυτα κατανοητό. Ένα ολοκληρωμένο «σύστημα» ερμηνείας μιας πληθώρας φυσικών φαινομένων, που δημιουργεί και επιβάλλει ένα συγκεκριμένο εννοιολογικό περίγραμμα, ακόμη κι αν διαπιστωθεί ότι περιέχει ορισμένες αντιφάσεις, μπορεί τελικά να αντικατασταθεί μόνο από ένα άλλο σύστημα με αντίστοιχες δυνατότητες συνολικής ερμηνείας.

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΚΟΠΕΡΝΙΚΟΣ

Ο Nicolas Koppernigk, γνωστός με το εκλατινισμένο όνομα Copernicus, γεννήθηκε στις 19 Φεβρουαρίου του 1473 στη μικρή πόλη Thorn, στις όχθες του ποταμού Βιστούλα της σημερινής Πολωνίας. Ο πατέρας του, έμπορος από την Κρακοβία, είχε εγκατασταθεί στην Thorn το 1462. Μετά το θάνατο του πατέρα του (1483) ανέλαβε την κηδεμονία του ο θείος του Lucas Watzelrode, ιερωμένος και πολιτικός, σημαντική μορφή με ιδιαίτερη δράση στις περιοχές της Βαλτικής. Αργότερα ο Watzelrode έγινε αρχιεπίσκοπος και εγκαταστάθηκε στην καθεδρική πόλη Frauenburg. Ο θείος του προσανατόλισε τον νεαρό Κοπέρνικο προς την εκκλησιαστική σταδιοδρομία. Αφού τελείωσε τις εγκύκλιες σπουδές του στη Thorn, συνέχισε στο Πανεπιστήμιο της Κρακοβίας, όπου φαίνεται ότι ήλθε για πρώτη φορά σε επαφή με την αστρονομία και τα μαθηματικά. Σήμερα γνωρίζουμε ότι την εποχή εκείνη το Πανεπιστήμιο της Κρακοβίας ήταν ένα πανεπιστήμιο φιλελεύθερο και σύγχρονο. Ο Κοπέρνικος φαίνεται ότι εγκατέλειψε το πανεπιστήμιο το 1494. Το 1496 αναχώρησε για την Ιταλία, για να συνεχίσει εκεί τις σπουδές του.

Στην Ιταλία έζησε και σπούδασε για δέκα χρόνια στη Φεράρα, στην Μπολώνια, στην Πάδουα και στη Ρώμη. Παρά το ότι πήγε για να σπουδάσει δίκαιο και ιατρική, τον νεαρό Κοπέρνικο τον μάγεψαν τα μαθηματικά, η αστρονομία και η αρχαία ελληνική φιλοσοφία. Κατά τη διάρκεια των σπουδών του χειροτονήθηκε κληρικός στο Frauenburg (1497).

Το 1505 ή το 1506 επέστρεψε στην Πολωνία όπου και παρέμεινε για τα υπόλοιπα χρόνια της ζωής του. Σήμερα έχουμε ενδείξεις ότι από τη χρονιά εκείνη, δηλαδή στο τελευταίο διάστημα της παραμονής του στην Ιταλία ή αμέσως μετά την επιστροφή του στην Πολωνία, ο Κοπέρνικος, άρχισε να σχεδιάζει το βιβλίο του. Όπως αναφέρεται στον πρόλογο του βιβλίου, φύλαξε την ιδέα της ηλιοκεντρικής υπόθεσης κρυφή όχι μόνο εννιά

χρόνια, όπως απαιτούσαν οι πυθαγόρειες δοξασίες, αλλά «τέσσερις φορές εννιά χρόνια».

Το 1512, μετά το θάνατο του θείου του μεταφέρθηκε σε έναν πυργίσκο του τείχους που περιέβαλε το Frauenburg. Παρέμεινε εκεί τα επόμενα 31 χρόνια. Πολλές φορές πήρε ενεργό μέρος στη διακυβέρνηση και στην πολιτική ζωή της περιοχής του, συνήθως ως αντιπρόσωπος στις διαμάχες μεταξύ του βασιλιά της Πολωνίας και των Τευτόνων Ιπποτών. Περνούσε τις μέρες του κυρίως μελετώντας τον Πτολεμαίο και τους αστρονομικούς πίνακες των αρχαίων και νεότερων αστρονόμων, προσπαθώντας να τελειοποιήσει το σύστημά του. Φαίνεται ότι ολοκλήρωσε το έργο στα 1529-1532, αλλά δίστασε να δημοσιεύσει το παραμικρό. Εντούτοις, γύρω στο 1529, ο Κοπέρνικος γνωστοποίησε σε φίλους του με τη μορφή χειρογράφου (που βρέθηκε το 1878 και έφερε τον τίτλο *Commentariolus*) τις βασικές ιδέες, τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της θεωρίας του, χωρίς όμως να αναφέρει οποιοδήποτε υπολογισμό.

Το 1539 φτάνει στο Frauenburg κάποιος απρόσμενος επισκέπτης, ο Joachim von Lauchen, γνωστός ως Rheticus (1514-1574), ενθουσιώδης νεαρός καθηγητής των μαθηματικών από τη Βιττεμβέργη. Ο Rheticus είχε ακούσει τις φήμες για την ηλιοκεντρική θεωρία και αδημονούσε να γνωρίσει τη θεωρία του Κοπέρνικου. Ο Κοπέρνικος νιώθει σύντομα ιδιαίτερη φιλία για τον νεαρό και ενθουσιώδη λόγιο και δέχεται να του αποκαλύψει αυτό που επανειλημμένα είχε αρνηθεί στο παρελθόν. Η επίσκεψη που αρχικά ήταν προγραμματισμένη να κρατήσει μερικές εβδομάδες διαρκεί τελικά δύο περίπου χρόνια. Επανεξετάζουν μαζί όλα τα δεδομένα και τους υπολογισμούς και ένα χρόνο αργότερα (1540), με την έγκριση του Κοπέρνικου, ο Rheticus δημοσιεύει μια πρώτη παρουσίαση του συστήματος, το *Narratio Prima*.

Οι συνεχείς πιέσεις του Rheticus, το ενδιαφέρον που δημιούργησε το *Narratio Prima* και, ίσως, μια εσωτερική αλλαγή του Κοπέρνικου που βλέπει το θάνατο να πλησιάζει, τον πείθουν να δώσει την έγκριση για τη δημοσίευση του έργου του. Η εκτύπωση του βιβλίου ολοκληρώνεται το χειμώνα του 1542-1543 στη Νυρεμβέργη με την επιμέλεια του λουθηρανού εκδότη Andreas Osiander, φίλου του Rheticus. Λέγεται ότι το πρώτο αντίτυπο του *De Revolutionibus* έφτασε στο Frauenburg στις 24 Μαΐου 1543. Ο Κοπέρνικος, που είχε προσβληθεί από εγκεφαλικό επεισόδιο και βρισκόταν στην επιθανάτιο κλίνη, πέθανε την ίδια μέρα χωρίς ποτέ να δει το βιβλίο.

3 Η ΕΠΙΚΡΑΤΗΣΗ ΤΟΥ ΗΛΙΟΚΕΝΤΡΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στις αρχές του 17ου αι. η θεωρία του Κοπέρνικου είχε ήδη συμπληρώσει 50 χρόνια ζωής χωρίς να έχει ακόμη διαφανεί αν θα καταφέρει να επιβληθεί. Τις τρεις πρώτες δεκαετίες αυτού του αιώνα δύο άνθρωποι, ο Galileo Galilei (Γαλιλαίος, 1564-1642) και ο Johannes Kepler (Κέπλερ, 1571-1630), θα καταφέρουν με τις συμβολές τους να ξεπεράσουν τις δυσκολίες που αντιμετώπιζε η κοπερνίκεια θεωρία

και θα γίνουν, με το δικό του τρόπο ο καθένας, οι πρωτεργάτες στην καθιέρωσή της, με μεγάλες όμως τροποποιήσεις στο αρχικό μοντέλο του Κοπέρνικου.

Από τα τέλη του 16ου αι. υπήρχαν τόσο στον τομέα της αστρονομίας όσο και σε αυτόν της μηχανικής κάποιες νέες επιστημονικές πρακτικές, που ενσωματώθηκαν στο σώμα των επιστημονικών μεθοδολογιών και έπαιξαν ουσιαστικό και καθοριστικό ρόλο. Η σπουδαιότερη από αυτές ήταν η πρακτική της **συστηματικής μέτρησης** και **παρατήρησης των κινήσεων των ουράνιων σωμάτων**. Πρωτοπόρος στην κατεύθυνση αυτή υπήρξε ο μεγάλος Δανός αστρονόμος Tycho Brahe (Τύχο Μπράχε, 1546-1601).

3.1 Tycho Brahe : Ο πρωτοπόρος παρατηρησιακός αστρονόμος



Tycho Brahe (1546-1601).

Για να κατανοήσουμε την αλλαγή που επέφερε ο Brahe στην πρακτική της αστρονομικής παρατήρησης, πρέπει να σταθούμε για λίγο στο πώς οι αστρονόμοι παρατηρούσαν τον ουρανό έως και την εποχή του Κοπέρνικου. Οι παλαιότεροι αστρονόμοι, λοιπόν, παρατηρούσαν τις θέσεις των πλανητών μόνο όταν συνέβαιναν αστρονομικά γεγονότα με ιδιαίτερο ενδιαφέρον, όπως εκλείψεις ή σύνοδοι, ή αν ήθελαν να ελέγξουν τους θεωρητικούς υπολογισμούς τους σε συγκεκριμένα σημεία της τροχιάς ή σε συγκεκριμένες ημερομηνίες. Ο Κοπέρνικος, όπως και οι αρχαίοι αστρονόμοι, για να διαμορφώσει και να αποδείξει την ορθότητα των συστημάτων του χρησιμοποιούσε μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες παρατηρήσεων. Ο Brahe ήταν ο πρώτος στη δυτική επιστημονική παράδοση που κατανόησε ότι ο μοναδικός τρόπος για να προσεγγίσει τη λύση του μυστηρίου του κόσμου ήταν η **συστηματική καθημερινή παρατήρηση**. Παρατηρούσε καθημερινά και για αρκετά χρόνια τον ήλιο και τους πλανήτες, και μετά από δεκαετίες συστηματικής εργασίας διέθετε δεκάδες χιλιάδες παρατηρήσεων που αποτελούσαν ένα συνεχές στο χρόνο αρχείο των θέσεων και των κινήσεων των ουράνιων σωμάτων. Επιπλέον, οι παρατηρήσεις αυτές είχαν γίνει με τελειοποιημένα για την εποχή τους όργανα και ήταν ακριβέστερες από όλες τις προηγούμενες, παρά το γεγονός ότι και αυτές είχαν γίνει με γυμνό μάτι, αφού το τηλεσκόπιο δε χρησιμοποιήθηκε πριν από το 1609-1610.

3.2 Μια νέα επιστημονική πρακτική: οι συστηματικές μετρήσεις

Ο Γαλιλαίος και ο Κέπλερ, με διαφορετικό τρόπο ο καθένας, μπόρεσαν να βρουν διεξόδους στα αδιέξοδα της αριστοτελικής φυσικής, γιατί ανέδειξαν σε πρωταρχικό και βασικό στοιχείο της μεθοδολογίας τους την ανάλυση συστηματικών μετρήσεων και ποσοτικών παρατηρήσεων των φυσικών φαινομένων, είτε επρόκειτο για την ελεύθερη πτώση των σωμάτων είτε για την κίνηση των πλανητών. Η διαφορά μεταξύ τους είναι ότι ο Γαλιλαίος υπήρξε ο ίδιος μεγάλος σχεδιαστής ευφυών πειραμάτων, ενώ ο Κέπλερ βασίστηκε, σχεδόν αποκλειστικά, στις παρατηρήσεις του Tycho Brahe. Και οι δύο, όμως, χαρακτηρίζονται από την απόλυτη πίστη στην ανάγκη η ερμηνεία να μπορεί να ενσωματώσει με επιτυχία τις παρατηρήσεις, διαχωρίζοντας την κατανόηση ενός φυσικού φαινομένου από την κατανόηση του αρχικού αιτίου που το προκαλεί. Η έννοια του φυσικού νόμου και η μαθηματική-ποσοτική έκφραση των κανονικοτήτων της φύσης δημιουργήθηκαν και καθιερώθηκαν στην περίοδο της Επιστημονική Επανάστασης με το έργο του Γαλιλαίου και του Κέπλερ, όπως θα δούμε στα κεφάλαια που ακολουθούν.



Το Uraniborg, το κεντρικό κτίριο από το αστεροσκοπείο του Tycho Brahe.

Ερωτήσεις

1) Ποια ήταν τα κύρια χαρακτηριστικά της αριστοτελικής αντίληψης για τον υλικό κόσμο που ανατράπηκαν από την Επιστημονική Επανάσταση;

2) Γιατί λέμε ότι με την Επιστημονική Επανάσταση η επίγεια φυσική γίνεται για πρώτη φορά στην ιστορία της ανθρωπότητας, και ουράνια;

3) Αν πάρετε ως παράδειγμα το φαινόμενο της πτώσης των σωμάτων μπορείτε να δείξετε τη διαφορά στην κατανόησή του ανάμεσα στην περίπτωση που το ενδιαφέρον μας εστιάζεται στην αναζήτηση των νόμων και στην περίπτωση που εστιάζεται στην αναζήτηση των πρώτων αιτίων; Ποια είναι η διαφορά μεταξύ της κατανόησης του πώς ένα αντικείμενο πέφτει και του γιατί πέφτει; Γιατί οι δύο αυτές διαφορετικές στάσεις οδηγούν σε διαφορετικούς τρόπους μελέτης του υλικού κόσμου;

4) Τι εννοούμε όταν λέμε ότι με την Επιστημονική Επανάσταση η ποιοτική μελέτη της φύσης μετατράπηκε σιγά σιγά σε ποσοτική μελέτη; Μπορείτε να αναφέρετε κάποια παραδείγματα ποιοτικών και ποσοτικών προσεγγίσεων του υλικού κόσμου, με βάση τα όσα έχουμε αναφέρει σε προηγούμενα κεφάλαια;

5) Ποιο είναι το χαρακτηριστικό της κοπερνίκειας θεωρίας που τη διαφοροποιεί ριζικά από την ηλιοκεντρική αντίληψη των Αρχαίων Ελλήνων και ειδικά του Αρίσταρχου;

6) Για ποιους λόγους το έργο του Κοπέρνικου θεωρείται συχνά όχι ως το πρώτο μιας νέας εποχής, αλλά ως το τελευταίο έργο που βασίζεται στην παράδοση της αρχαιοελληνικής αντίληψης για το σύμπαν;

7) Ποια ήταν τα κυριότερα προβλήματα που έθετε το κοπερνίκειο σύστημα στην αριστοτελική αντίληψη του κόσμου;

8) Ποιοι ήταν οι δύο μεγάλοι επιστήμονες των αρχών του 17ου αι., που με τις έρευνές τους και τις θεωρίες τους επιβεβαίωσαν την ορθότητα του ηλιοκεντρικού συστήματος; Ποιες οι ομοιότητες και ποιες οι διαφορές στην επιστημονική μεθοδολογία τους;

9) Ποια ήταν η συμβολή του Tycho Brahe στην πρακτική των αστρονομικών παρατηρήσεων;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Η ΓΕΝΝΗΣΗ ΤΗΣ ΝΕΟΤΕΡΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ: ΤΟ ΕΡΓΟ ΤΟΥ ΓΑΛΙΛΑΙΟΥ

Στο Γαλιλαίο οφείλουμε την καθιέρωση του νέου τρόπου μελέτης της φύσης, το συνδυασμό, δηλαδή, της **μαθηματικής διατύπωσης** και του **πειραματικού ελέγχου**. Με το έργο του θεσμοθετούνται οι κανόνες που πρέπει να τηρούνται προκειμένου να μελετηθούν και να κατανοηθούν τα φυσικά φαινόμενα. Οι κανόνες αυτοί υπαγορεύουν μια διαφορετική προσέγγιση της φύσης από αυτήν που επικρατούσε στην Αρχαιότητα και στο Μεσαίωνα. Συνοπτικά είναι οι εξής:

1. Η λειτουργία της φύσης διέπεται από φυσικούς νόμους.

2. Οι νόμοι ισχύουν με ακρίβεια όχι στη φύση, όπως την αντιλαμβανόμαστε καθημερινά, αλλά σε μια ιδεατή «φύση» (χωρίς τριβές κτλ.).

3. Η διατύπωση των νόμων και η κατανόηση των επιπτώσεών τους είναι δυνατές μόνο με τη χρήση των μαθηματικών.

4. Είναι δυνατόν να αναπαραχθεί μια λειτουργία της φύσης σε ελεγχόμενο περιβάλλον (πείραμα), ώστε μελετηθούν οι επιπτώσεις των νόμων που τη διέπουν.

Ο Γαλιλαίος γεννήθηκε στην Πίζα το 1564. Τα πρώτα του γράμματα τα έμαθε σ' ένα μοναστήρι κοντά στη Φλωρεντία. Το 1581 άρχισε να σπουδάζει ιατρική στο Πανεπιστήμιο της Πίζας χωρίς ποτέ να ολοκληρώσει τις σπουδές του και το 1585 έφυγε από το πανεπιστήμιο λόγω οικονομικών δυσκολιών της οικογένειάς του. Γοητευμένος από τη μελέτη του Ευκλείδη και του Αρχιμήδη, αρχίζει να εργάζεται εντατικά στα μαθηματικά. Παρέδιδε μαθήματα στην Ακαδημία της Φλωρεντίας και η μελέτη του σχετικά με τα κέντρα βάρους των στερεών, που δημοσιεύθηκε το 1586, έγινε αφορμή να διοριστεί την επόμενη χρονιά ως λέκτορας των μαθηματικών στο πανεπιστήμιο της Πίζας. Το εισόδημά του από τη θέση του στην Πίζα ήταν πενιχρό και το 1592 υποβάλει αίτηση και εκλέγεται στην έδρα των Μαθηματικών του Πανεπιστημίου της Πάδουας, ενός από τα παλαιότερα και



Γαλιλαίος (1564-1642)

πιο φημισμένα πανεπιστήμια της Ευρώπης. Στη διάρκεια των 18 χρόνων που μένει στην Πάδουα μελετά συστηματικά όλα τα προβλήματα που σχετίζονται με την κίνηση και ουσιαστικά θέτει τις βάσεις για την ανατροπή της αριστοτελικής αντίληψης για την κίνηση.

1 ΤΟ ΕΡΓΟ ΤΟΥ ΓΑΛΙΛΑΙΟΥ

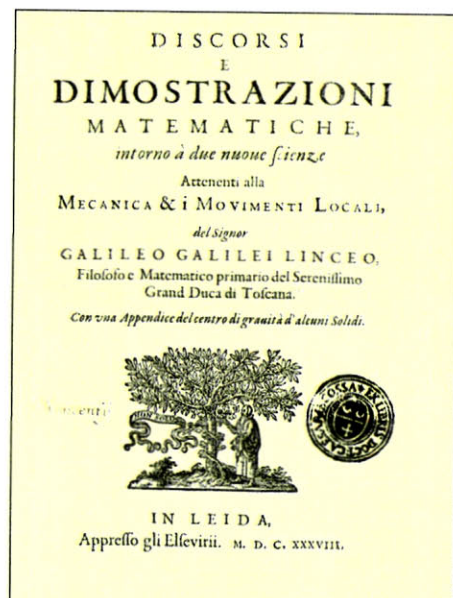
1.1 Ο νόμος της ελεύθερης πτώσης, προβλήματα κίνησης και η έννοια της αδράνειας

Στο Γαλιλαίο οφείλεται η διατύπωση του **νόμου της ελεύθερης πτώσης των σωμάτων**, ενός από τους πιο σημαντικούς νόμους της φύσης. Σύμφωνα με το νόμο αυτό, ένα σώμα το οποίο αφήνεται να πέσει από ένα σημείο αναπτύσσει μια *σταθερή επιτάχυνση ανά μονάδα χρόνου και η απόσταση που διανύει είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του χρόνου που μεσολαβεί μέχρι να ακινητοποιηθεί.* Από τις σημειώσεις και το αδημοσίευτο υλικό που άφησε ο Γαλιλαίος συμπεραίνουμε ότι πρέπει να είχε οδηγηθεί στη διατύπωση του νόμου γύρω στο 1604· τον διατυπώνει για πρώτη φορά στο έργο του *Διάλογοι σχετικά με τα δύο κύρια συστήματα του κόσμου, το Πτολεμαϊκό και το Κοπερνίκειο* (1632) και τον αναπτύσσει λεπτομερώς στο τελευταίο βιβλίο του με τίτλο *Οι δύο νέες επιστήμες που αφορούν τη Μηχανική και την τοπική κίνηση* (1638).

Ο νόμος αυτός, ο οποίος ισχύει με απόλυτη ακρίβεια όταν το σώμα κινείται στο κενό, δηλώνει ότι η επιτάχυνση είναι σταθερή· δεν εξαρτάται, δηλαδή, από τη σύσταση, το βάρος, τον όγκο και το σχήμα του σώματος. Λέγεται ότι ο Γαλιλαίος χρησιμοποίησε τον Πύργο της Πίζας, για να επιδείξει την ορθότητα του νόμου, δεν έχουμε όμως αρκετά στοιχεία για να τεκμηριώσουμε κάτι τέτοιο.

Για να επιβεβαιώσει το νόμο ο Γαλιλαίος επινόησε το εξής ευφυές **πείραμα**. Κατασκεύασε δύο ορθογώνια παραλληλεπίπεδα με ίδιες διαστάσεις από δύο διαφορετικά υλικά, π.χ. από ξύλο και από μάρμαρο. Εφάρμοσε το ξύλο πάνω από το μάρμαρο και τα άφησε να πέσουν. Αυτό που έπρεπε να παρατηρήσει με μεγάλη προσοχή ήταν αν τη στιγμή λίγο πριν φτάσουν στη γη υπήρχε κάποια απόσταση ανάμεσα στις δύο επιφάνειες. Στην πρώτη εκτέλεση του πειράματος παρατήρησε ότι τα σώματα έπεφταν εφαρμοσμένα το ένα πάνω στο άλλο ως το τέλος. Στη συνέχεια επανέλαβε το ίδιο πείραμα βάζοντας, όμως, το μάρμαρο από πάνω και το ξύλο από κάτω. Παρατήρησε ότι και πάλι δεν υπήρχε καμιά απόσταση ανάμεσα στα δύο σώματα λίγο πριν φτάσουν στη γη. Τώρα σκέφτηκε ως εξής: αν η επιτάχυνση ήταν μεγα-

λύτερη στο ξύλο από ό,τι στο μάρμαρο, τότε στο πρώτο πείραμα δε θα υπήρχε μεν απόσταση (γιατί το ξύλο θα «έσπρωχνε» το μάρμαρο), στο δεύτερο πείραμα, όμως, θα υπήρχε απόσταση, αφού το ξύλο θα αποκτούσε μεγαλύτερη ταχύτητα· αν πάλι η επιτάχυνση ήταν μεγαλύτερη στο μάρμαρο από ό,τι στο ξύλο, τότε θα υπήρχε απόσταση στο τέλος του πρώτου πειράματος. Το πείραμα επαναλήφθηκε με την ίδια διάταξη, αλλά με τα δύο σώματα να έχουν διαφορετική μάζα και βάρος, δίνοντας συνεχώς τα ίδια αποτελέσματα.


DISCORSI
E
DIMOSTRAZIONI
MATEMATICHE,
intorno à due nuoue ſcienze
Attenenti alla
MECANICA & i MOVIMENTI LOCALI,
del Signor
GALILEO GALILEI LINCEO,
Filoſofo e Matematico primario del Sereniſſimo
Grand Duca di Toſcana.
Con una Appendice del centro di grauità d'alcuni Solidi.
IN LEIDA,
Appreſſo gli Elſevirii. M. D. C. XXXVIII.

Η σελίδα τίτλου του βιβλίου του Γαλιλαίου Discorsi e Dimostrazioni Mathematiche, *Leiden, 1638.*

Έχοντας έτσι επιβεβαιώσει πειραματικά ότι η επιτάχυνση στην ελεύθερη πτώση είναι η ίδια για όλα τα σώματα ανεξάρτητα από το είδος του υλικού τους, ο Γαλιλαίος προχώρησε στη συστηματική διερεύνηση της σωστής σχέσης ανάμεσα στην απόσταση που διανύει ένα σώμα σε ελεύθερη πτώση, στο χρόνο που κάνει για να τη διανύσει και στην τελική ταχύτητα που αποκτά στο τέλος της διαδρομής του. Έως εκείνη την εποχή το φαινόμενο της ελεύθερης πτώσης των σωμάτων προσεγγιζόταν με βάση το λεγόμενο «κανόνα του Merton», που είχε διατυπωθεί το 14ο αι. από μια ομάδα στοχαστών του ομώνυμου Κολεγίου του Πανεπιστημίου της Οξφόρδης. Σύμφωνα με τον κανόνα αυτό μια ομαλώς επιταχυνόμενη (επιβραδυνόμενη) κίνηση είναι ισοδύναμη, σε ό,τι αφορά το διάστημα που διανύεται σε δοθέντα χρόνο, με μια ομαλή κίνηση, στην οποία η ταχύτητα είναι ίση από την αρχή ως το τέλος με τη στιγμιαία ταχύτητα στο μέσο του χρόνου της ομαλώς επιταχυνόμενης (επιβραδυνόμενης) κίνησης. Ο Γαλιλαίος επανήλθε στη μελέτη του θέματος στις αρχές του 17ου αι. εκτελώντας μια σειρά από πειράματα με σώματα που κινούνται σε κεκλιμένα επίπεδα. Πρέπει να τονίσουμε στο σημείο αυτό, ότι σε τέτοιου είδους πειράματα, η αρχική επιλογή της μονάδας για τη μέτρηση του χρόνου και της απόστασης είναι αυθαίρετη. Όταν όμως η μονάδα επιλεγεί, ο φυσικός είναι υποχρεωμένος να μείνει συνεπής στη συγκεκριμένη επιλογή.

Το κρίσιμο στοιχείο για την επιτυχή διεξαγωγή αυτών των πειραμάτων ήταν **η ακριβής μέτρηση του χρόνου**, δεδομένου ότι την εποχή του Γαλιλαίου δεν υπήρχαν μηχανικά ρολόγια, που μπορούσαν να μετρούν τον χρόνο με την απαιτούμενη για

τα πειράματα αυτά ακρίβεια. Ας αφήσουμε να μας αφηγηθεί ο ίδιος πώς πραγματοποίησε τα πειράματά του και πώς μετρούσε το χρόνο.

Πήραμε ένα κομμάτι ξύλο με διαστάσεις περίπου 12 κύβιτα [κύβιτο είναι η απόσταση από τους αγκώνες ως την άκρη των δακτύλων] *μήκος, μισό κύβιτο πλάτος και πάχος τρία δάκτυλα. Στην επάνω άκρη κάναμε μια τομή και δημιουργήσαμε ένα αυλάκι λίγο περισσότερο από το πάχος ενός δακτύλου. Το αυλάκι αυτό το επενδύσαμε με μια περγαμηνή, και το γυαλίσαμε, για να γίνει όσο το δυνατόν πιο λείο, ώστε να κυλάει [χωρίς δυσκολίες] μια εντελώς στρογγυλή και λεία σφαίρα κατασκευασμένη από το σκληρότερο χαλκό. Αφού τοποθετήσαμε το κομμάτι ξύλου σε κεκλιμένη θέση σηκώνοντας το ένα άκρο του περίπου ένα με δύο κύβιτα, αφήσαμε τη σφαίρα να κυλήσει στο αυλάκι, σημειώνοντας, με τρόπους που θα εξηγήσουμε σε λίγο, το χρόνο που χρειάστηκε για να ολοκληρώσει την κάθοδο. Επαναλάβαμε το πείραμα περισσότερες από μία φορές, για να είμαστε σίγουροι για το χρόνο καθόδου και βρήκαμε πως η απόκλιση ανάμεσα σε δύο παρατηρήσεις ποτέ δεν ήταν παραπάνω από ένα δέκατο ενός* [καρδιακού] *παλμού. Αφού εκτελέσαμε το εγχείρημα ώσπου να σιγουρευτούμε για την αξιοπιστία του, αφήσαμε κατόπιν τη σφαίρα να κυλήσει μόνο στο ένα τέταρτο του μήκους του αυλακιού. Μετρώντας το χρόνο καθόδου, βρήκαμε ότι είναι ακριβώς το μισό του προηγούμενου. Ύστερα εργαστήκαμε με άλλες αποστάσεις, συγκρίνοντας το χρόνο* [που απαιτήθηκε] *για το συνολικό μήκος με αυτόν [που απαιτήθηκε] για το μισό ή για τα δύο τρίτα ή για τα τρία τέταρτα ή για όποιο άλλο κλάσμα. Σε αυτά τα πειράματα που επαναλήφθηκαν εκατό φορές βρίσκαμε πάντοτε πως οι λόγοι των αποστάσεων* [που διένυε η σφαίρα] *ήταν ανάλογοι με τους λόγους των τετραγώνων των χρόνων και αυτό ήταν αληθές για κάθε κλίση που είχε το αυλάκι ...*

Για τη μέτρηση του χρόνου χρησιμοποιήσαμε ένα μεγάλο δοχείο με νερό, το οποίο τοποθετήσαμε σε κάποιο ύψος. Στον πυθμένα του δοχείου προσαρμόστηκε ένας σωλήνας μικρής διαμέτρου από τον οποίο έβγαινε ένας λεπτός πίδακας νερού. Συλλέγαμε το νερό που αντιστοιχούσε σε κάθε κάθοδο σε ένα μικρό κύπελλο ... και ζυγίζαμε το νερό σε μια ζυγαριά ακριβείας. Οι λόγοι των βαρών αντιστοιχούσαν στους λόγους των χρόνων. Και αυτό ήταν τόσο ακριβές που παρά το γεγονός ότι επαναλάβαμε το πείραμα πολλές φορές δεν υπήρξε καμιά αξιοσημείωτη απόκλιση στις τιμές.

Μετά την αναπαραγωγή των αποτελεσμάτων των πειραμάτων που είχαν γίνει στο Merton ο Γαλιλαίος προχώρησε στη μαθηματική απόδειξη του εμπειρικού κανόνα του Merton. Χρησιμοποιώντας γεωμετρικές μεθόδους, κατέληξε πως στην ελεύθερη πτώση η απόσταση που διανύει ένα σώμα είναι ανάλογη προς το *τετράγωνο* του χρόνου. Η αριστοτελική άποψη η οποία ίσχυε έως τότε, ήταν πως η απόσταση στην ελεύθερη πτώση ήταν ανάλογη με το χρόνο.

Ο κανόνας του Merton ίσχυε για όλα τα κεκλιμένα επίπεδα ανεξάρτητα από τη γωνία τους. Η ελεύθερη πτώση ήταν ουσιαστικά η κίνηση σε κεκλιμένο επίπεδο με γωνία 90°. Όλα αυτά οδηγούσαν στην υπόθεση ότι η κίνηση μιας σφαίρας σε κεκλιμένο επίπεδο ήταν αποτέλεσμα του νόμου της επιτάχυνσης και των περιορισμών

(δηλαδή της κλίσης του επιπέδου) του συγκεκριμένου κεκλιμένου επιπέδου. Με ανάλογους συλλογισμούς και πειράματα ο Γαλιλαίος μελέτησε την πτώση των σωμάτων που προηγουμένως είχαν αποκτήσει αρχική ταχύτητα κινούμενα σε οριζόντιο επίπεδο, αποδεικνύοντας ότι οι τροχιές που διαγράφουν είναι παραβολικές.

Μια από τις σπουδαιότερες συνεισφορές του Γαλιλαίου στη Φυσική είναι ο τρόπος με τον οποίο χειρίστηκε το πρόβλημα της **αδράνειας**. Η ιστορική έρευνα καταλήγει στην άποψη ότι κατάφερε να αποσαφηνίσει την έννοια της αδράνειας και να «πλησιάσει» στη διατύπωση της αρχής της αδράνειας, που έγινε από το Νεύτωνα. Παραθέτουμε το σχετικό απόσπασμα από το έργο του Γαλιλαίου *Οι δύο νέες επιστήμες* (1638):

> *Θα μπορούσαμε να σημειώσουμε πως η ταχύτητα που αποκτά ένα σώμα θα συνεχίζει να συντηρείται όσο δεν υπάρχουν αιτίες που δημιουργούν επιτάχυνση ή επιβράδυνση, κατάσταση που παρατηρείται μόνο σε οριζόντια επίπεδα. Γιατί στην περίπτωση* [της κίνησης προς τα κάτω] *που τα επίπεδα είναι κεκλιμένα υπάρχει η αιτία της επιτάχυνσης, ενώ* [στην κίνηση προς τα επάνω] *πάλι σε κεκλιμένα επίπεδα υπάρχει επιβράδυνση. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η κίνηση σε οριζόντια* [χωρίς τριβή] *επίπεδα είναι αέναη.*

1.2 Το τηλεσκόπιο και οι νέες ανακαλύψεις

Η νεότερη ιστορική έρευνα αποδίδει στο Γαλιλαίο όχι την ανακάλυψη του τηλεσκοπίου, αλλά το ότι ήταν ο πρώτος ο οποίος το έστρεψε στον ουρανό με σκοπό να κάνει παρατηρήσεις, που θα οδηγούσαν τελικά στην πλήρη ανατροπή της εικόνας του κόσμου που κυριαρχούσε για πολλούς αιώνες.

Από τα μέσα του 13ου αι. άρχισαν να κατασκευάζονται κυρτοί φακοί, ενώ από το 15ο αι., κοίλοι. Τηλεσκόπια όμως δεν κατασκευάστηκαν πριν από τις αρχές του 17ου αιώνα. Το φθινόπωρο του 1608 τρεις Ολλανδοί με αίτηση στην κυβέρνησή τους ζητούσαν να τους κατοχυρωθεί ως ευρεσιτεχνία ένα όργανο, με τη βοήθεια του οποίου «τα αντικείμενα που ήταν μακριά φαίνονται σαν να είναι πολύ κοντά». Σε λίγες εβδομάδες άρχισε να απλώνεται η φήμη του νέου αυτού οργάνου, με αποτέλεσμα το καλοκαίρι του 1609 τηλεσκόπια με δυνατότητα μεγέθυνσης τρεις ή τέσσερις φορές να πωλούνται στη Γαλλία και στην Ιταλία.

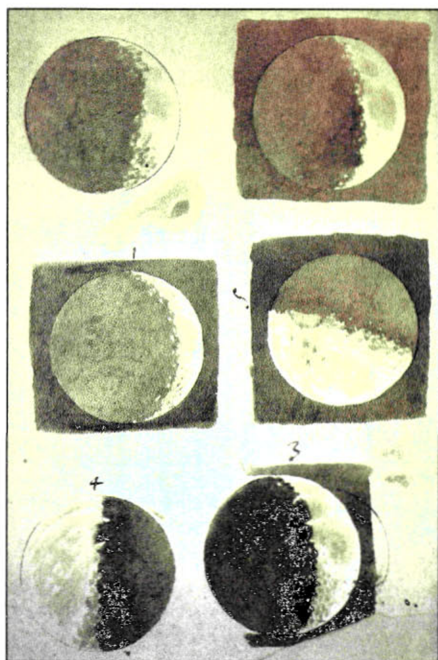
Ήδη από το Νοέμβριο του 1608 ο φίλος του Γαλιλαίου, ο θεολόγος P. Sarpi (Σάρπι, 1552-1623) είχε ακούσει τις φήμες για την ύπαρξη των τηλεσκοπίων και το Μάρτιο του 1609 έστειλε μια επιστολή στον παλιό μαθητή του Γαλιλαίου J. Badovere (Μπαντοβέρε), που έμενε στο Παρίσι. Ο Badovere επιβεβαίωσε την αλήθεια των πληροφοριών και το

Μάιο του 1609 ο Sarpi ενημέρωσε τον Γαλιλαίο. Ο Γαλιλαίος προσπάθησε αμέσως να κατασκευάσει ένα τηλεσκόπιο με δύο φακούς, αλλά το αποτέλεσμα ήταν απογοητευτικό. Τους επόμενους μήνες, ύστερα από μια σειρά πειραματισμών κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η μεγέθυνση σχετίζεται με το λόγο των εστιακών αποστάσεων των φακών και πως αυτή η σχέση οδηγούσε στην κατασκευή αδύνατων κοίλων και ισχυρών κυρτών φακών. Τον Αύγουστο του 1609 κατάφερε να κατασκευάσει ο ίδιος ένα τηλεσκόπιο με μεγέθυνση οκτώ ή εννέα φορές, ένα όργανο εξαιρετικά ισχυρό για τα δεδομένα της εποχής.

Η πρώτη σκέψη του δεν ήταν, όπως φαίνεται, να το χρησιμοποιήσει για τη μελέτη του ουρανού. Άλλος ήταν, μάλλον, ο σκοπός του. Έγραψε στο φίλο του Sarpi και του ζήτησε να κανονίσει μια ακρόαση με τη Γερουσία της Βενετίας. Ο Γαλιλαίος περιγράφει την έκπληξη του Δόγη της Βενετίας και των Γερουσιαστών, όταν συνειδητοποίησαν ότι με το τηλεσκόπιο μπορούσαν να διακρίνουν τα καράβια που πλησίαζαν τη Βενετία δυο ώρες πριν τα δουν με γυμνό μάτι. Οι δυνατότητες για στρατιωτική χρήση του οργάνου ήταν προφανείς. Ο Γαλιλαίος δώρισε ένα τηλεσκόπιο στη Βενετία, ζητώντας να του δοθεί μονιμότητα στο Πανεπιστήμιο της Πάδουας, όπου ήταν ήδη διορισμένος ως καθηγητής μαθηματικών. Ο Δόγης δέχτηκε την πρόταση, υποσχέθηκε μάλιστα να του υπερδιπλασιάσει το μισθό που ήδη έπαιρνε. Ήταν μια συναλλαγή όχι ασυνήθιστη για τα ήθη της εποχής και το αποτέλεσμά της εξασφάλιζε στο Γαλιλαίο την παραμονή στο Πανεπιστήμιο, κάτι που είχε αρχίσει να γίνεται επισφαλές μετά τις διαμάχες που άρχισε να έχει με τους καθηγητές φιλοσοφίας.

Το Νοέμβριο του 1609 ο Γαλιλαίος είχε κατασκευάσει ένα τηλεσκόπιο με μεγέθυνση 20. Ανάμεσα στις 30 Νοεμβρίου και τις 18 Δεκεμβρίου 1609 παρατήρησε με το τηλεσκόπιο αυτό τη σελήνη στις διάφορες φάσεις της και από εκείνες τις παρατηρήσεις έχουμε τα σκίτσα αριστερά.

Από τις παρατηρήσεις φαινόταν ότι η επιφάνεια της σελήνης δεν ήταν λεία και τέλεια, όπως πρέσβευε η αριστοτελική παράδοση, αλλά υπήρχαν βουνά και πεδιάδες. Εξάλλου, με το ίδιο ισχυρό τηλεσκόπιο ο Γαλιλαίος παρατήρησε πολλά νέα άστρα, που ήταν



Σχέδια της σελήνης που έγιναν από τον Γαλιλαίο παρατηρώντας τη από το τηλεσκόπιό του.

αδύνατο να παρατηρηθούν με γυμνό μάτι. Μάλιστα, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ιδιόμορφη φωτεινή λωρίδα που φαίνεται τα βράδια και ονομάζεται «γαλαξίας» δεν είναι τίποτα άλλο από πολλά άστρα, τα οποία δεν μπορούμε να ξεχωρίσουμε με γυμνό μάτι. Η επόμενη ανακάλυψή του αυτή την περίοδο ήταν η ύπαρξη δορυφόρων του Δία. Οι ανακαλύψεις αυτές συνέβαλαν στη διαδικασία αποδοχής του κοπερνίκειου συστήματος, καθώς αποδείκνυαν την ύπαρξη δορυφόρων και σε άλλο πλανήτη εκτός από τη γη.

Ήδη από την εποχή των παρατηρήσεων των δορυφόρων του Δία ο Γαλιλαίος είχε αποφασίσει ότι έπρεπε να ανακοινώσει τις ανακαλύψεις του, μιας και εκτιμούσε ότι ήταν θέμα χρόνου να αποκτήσουν και άλλοι ισχυρά τηλεσκόπια και να κάνουν τις ίδιες ανακαλύψεις. Την 1η Μαρτίου 1610 έλαβε την άδεια από τις αρχές να εκδώσει το βιβλίο που είχε συγγράψει. Το βιβλίο του ο *Αγγελιοφόρος των άστρων* κυκλοφόρησε στις 19 Μαρτίου 1610 σε 550 αντίτυπα, τα οποία εξαντλήθηκαν σχεδόν αμέσως.

Οι ανακαλύψεις που παρουσίαζε το βιβλίο δεν ήταν εύκολο να γίνουν αποδεκτές από τους φιλοσόφους και τους μαθηματικούς της εποχής, αφ' ενός γιατί δεν υπήρχαν τότε άλλα τόσο ισχυρά τηλεσκόπια και αφ' ετέρου διότι η βάση ενός μεγάλου αριθμού επιχειρημάτων της αριστοτελικής φυσικής ήταν η εμπειρία των αισθήσεων. Τώρα υπήρχε ένα όργανο που αποκάλυπτε σώματα και φαινόμενα που δεν ήταν δυνατό να παρατηρηθούν χωρίς αυτό. Την εποχή εκείνη δεν υπήρχε ακόμη μια ικανοποιητική θεωρία οπτικής και, άρα, δεν ήταν προφανές ότι τα παρατηρούμενα σώματα και φαινόμενα δεν ήταν κατασκεύασμα του ίδιου του οργάνου. Γι' αυτό, η αποδοχή του τηλεσκοπίου ως αξιόπιστου οργάνου για τη μελέτη της φύσης δεν ήταν αυτονόητη. Μόλις, λοιπόν, τυπώθηκε το βιβλίο του άρχισε να στέλνει σε διάφορα πρόσωπα μαζί με ένα αντίγραφο του βιβλίου και ένα τηλεσκόπιο. Τα πρόσωπα αυτά ήταν, κυρίως, άτομα με πολιτική ισχύ (πρίγκιπες, καρδινάλιοι κτλ.) οι οποίοι ήταν και χορηγοί των τεχνών και των επιστημών. Προσπάθησε, δηλαδή, ο Γαλιλαίος να δημιουργήσει ένα ευνοϊκό κλίμα για το τηλεσκόπιο και, με αυτό τον τρόπο, ένα ευνοϊκό κλίμα σχετικά με τις ανακαλύψεις του για το κοσμολογικό σύστημα και για τις επιπτώσεις τους.

Μετά την κυκλοφορία του βιβλίου, ο Γαλιλαίος παρατήρησε τις φάσεις της Αφροδίτης (που σύμφωνα με το γεωκεντρικό σύστημα δεν έπρεπε να εμφανίζονται). Λίγο αργότερα, παρατηρώντας τον Κρόνο (και χωρίς να είναι σε θέση με το τηλεσκόπιο που είχε να παρατηρήσει τους δακτυλίους), διατύπωσε την άποψη πως ο πλανήτης αυτός είναι τρία άστρα σχεδόν κολλημένα μαζί. Παρατήρησε, τέλος, τις ηλιακές κηλίδες στον ήλιο και απέδωσε την κίνησή τους στην περιστροφή του ήλιου γύρω από τον άξονά του.

Ένα αντίγραφο του βιβλίου μαζί με ένα τηλεσκόπιο έφτασε, μέσω του πρέσβη της Τοσκάνης, στην αυλή της Πράγας με την παράκληση να δοθεί στον Κέπλερ. Ο Γαλιλαίος, προφανώς, ήθελε να έχει τη γνώμη του πιο γνωστού και σημαντικού αστρονόμου της Ευρώπης την εποχή εκείνη. Ο Κέπλερ του έστειλε μια ενθουσιώδη απάντηση, αφού επιβεβαίωσε (με το τηλεσκόπιο που του είχε στείλει ο Γαλιλαίος) την ύπαρξη των δορυφόρων του Δία. Σε μια εξαιρετικά μακροσκελή επιστολή του, που δημοσιεύθηκε αργότερα με τον τίτλο *Συζήτηση με τον Αγγελιοφόρο των Άστρων*, ο Κέπλερ συνηγορεί υπέρ της ορθότητας όλων των ανακαλύψεων του Γαλιλαίου και προτείνει διάφορες βελτιώσεις στην κατασκευή του τηλεσκοπίου.

Τέλος, πρέπει να σημειωθεί πως το 1611 οι ανακαλύψεις του Γαλιλαίου είχαν την ενθουσιώδη αποδοχή των μαθηματικών και των αστρονόμων του Collegio Romano, του επίσημου Κολεγίου της Καθολικής Εκκλησίας. Την ίδια χρονιά ο Γαλιλαίος παραιτήθηκε από καθηγητής στο Πανεπιστήμιο της Πάδουας και διορίστηκε φιλόσοφος και μαθηματικός στην αυλή των Μεδίκων.

Ο ΓΑΛΙΛΑΙΟΣ ΚΑΙ Η ΕΚΚΛΗΣΙΑ

Πολλά έχουν γραφτεί κατά καιρούς για τις σχέσεις του Γαλιλαίου με την εκκλησία και για την καταδίκη του από την Ιερά Εξέταση. Για το λόγο αυτό θεωρούμε σκόπιμο να παρεμβάλουμε στην αφήγησή μας την ενότητα που ακολουθεί, στην οποία παρουσιάζουμε τα γεγονότα που διαδραματίστηκαν, όπως τα έχει αναδείξει η νεότερη ιστορική έρευνα.

Στα χρόνια που ακολούθησαν την έκδοση του *Αγγελιοφόρου των άστρων* (1610) πληθαίνουν οι ενδείξεις υπέρ του ηλιοκεντρικού συστήματος και πολλοί αρχίζουν να αμφιβάλλουν για την εγκυρότητα του γεωκεντρικού συστήματος. Ως αντίδραση σε αυτό, οι υποστηρικτές του γεωκεντρικού συστήματος αρχίζουν να προβάλλουν θεολογικά επιχειρήματα. Η ένταση των συζητήσεων μεταξύ των αντιμαχομένων κάνει το Μεγάλο Δούκα των Μεδίκων να αναρωτηθεί μήπως ο χορηγούμενος από αυτόν Γαλιλαίος ήταν αιρετικός.

Το Δεκέμβριο του 1613 οι Μέδικοι προσκάλεσαν για πρόγευμα τον καθηγητή μαθηματικών του Πανεπιστημίου της Πίζας και φίλο του Γαλιλαίου B. Castelli (Καστέλι, 1578-1643). Παρόντες ήταν μεταξύ άλλων ο Μέγας Δούκας Cosimo (Κόζιμο) με τη γυναίκα του και τη μητέρα του Μεγάλη Δούκισσα Χριστίνα, και ένας καθηγητής της φιλοσοφίας. Σκοπός ήταν να συζητηθούν τα εδάφια της Βίβλου από τα οποία αντλούσαν τα επιχειρήματά τους οι υποστηρικτές του γεωκεντρισμού. Το πιο γνωστό εδάφιο είναι αυτό όπου ο Ιησούς του Ναυή διατάσσει τον ήλιο να σταθεί ακίνητος: «*Τότε ελάλησεν ο Ιησούς προς τον Κύριον, (...) και είπεν ενώπιον του Ισραήλ, Στήθι, ήλιε, επί την Γαβαών, και συ σελήνη, επί την φάραγγα Αιαλών. Και ο ήλιος εστάθη, και η σελήνη έμεινεν, εωσού ο λαός εκδικηθή τους εχθρούς αυτού. (...) Και εστάθη ο ήλιος εν τω μέσω του ουρα-*

νού, και δεν έσπευσε να δύση έως μιας ολοκλήρου ημέρας.» Αυτό μπορούσε να συμβαίνει μόνο εάν η γη ήταν ακίνητη και ο ήλιος περιστρέφεται γύρω της. Ο καθηγητής φιλοσοφίας είπε πως ήταν λάθος να υποστηρίζει ο Γαλιλαίος την περιστροφή της γης, αφού κάτι τέτοιο έρχεται σε αντίφαση προς τη Βίβλο.

Ενώ οι καλεσμένοι ετοιμάζονταν να αποχωρήσουν, η Χριστίνα ζήτησε από τον Castelli να μείνει, για να συνεχίσουν τη συζήτηση. Η συζήτηση περιστράφηκε αποκλειστικά γύρω από το θαύμα του Ιησού του Ναυή. Η βασική θέση στην επιχειρηματολογία του Castelli ήταν πως η μελέτη των επιστημονικών θεμάτων έπρεπε να προηγείται της ερμηνείας των βιβλικών εδαφίων. Ήταν μια διαφωτιστική και φιλική συζήτηση, από την οποία η Πριγκίπισσα έμεινε ικανοποιημένη

Όταν ο Γαλιλαίος πληροφορήθηκε τα της συνάντησης, θεώρησε ότι η στιγμή ήταν κατάλληλη για να εκφράσει και γραπτά τις απόψεις του για θέματα ερμηνείας της Βίβλου. Επέλεξε να το κάνει με μια επιστολή προς τον Castelli, στις 21 Δεκεμβρίου 1613. Λίγο αργότερα έστειλε μια επιστολή και στην Πριγκίπισσα Χριστίνα, εκθέτοντας αναλυτικά τις απόψεις του για την ερμηνεία των Γραφών.

Στην επιστολή του ο Γαλιλαίος υποστήριζε ότι η αυθεντία της Βίβλου ισχύει μόνο για θέματα πίστης και ηθικής και όχι κατ' ανάγκην για θέματα που αφορούν τη λειτουργία της φύσης, και παράλληλα προσπαθούσε να ερμηνεύσει το χωρίο του Ιησού του Ναυή. Το σημαντικότερο, όμως, μήνυμα του Γαλιλαίου ήταν ότι η ελευθερία της έρευνας για τη φύση θα οδηγούσε στην ακόμη πιο έγκυρη ερμηνεία και κατανόηση της Βίβλου.

Αντίγραφα της επιστολής έφθασαν σύντομα στα χέρια των αντιπάλων του Γαλιλαίου, οι οποίοι τον κατηγόρησαν ως αιρετικό. Η Ιερά Εξέταση διέταξε να μελετηθεί το περιεχόμενο της επιστολής, αλλά τελικά δε βρέθηκε τίποτα σ' αυτήν που να έρχεται σε αντίθεση με τις θέσεις της Εκκλησίας.

Όμως, στις 15 Νοεμβρίου 1615 η Ιερά Εξέταση αποφασίζει να μελετήσει τα *Γράμματα για τις ηλιακές κηλίδες* και το Δεκέμβριο του 1615 ο Γαλιλαίος αποφασίζει να μεταβεί στη Ρώμη. Η απόφασή του αυτή είχε δύο στόχους: να διευρύνει τον κύκλο εκείνων που πίστευαν στην ορθότητα των απόψεών του και να βάλει ένα τέλος στις φήμες που κυκλοφορούσαν εναντίον του.

Την υπόθεση ανέλαβε ο καρδινάλιος Roberto Bellarmine (Μπελαρμίν, 1542-1621),

DIALOGO
DI
GALILEO GALILEI LINCEO
MATEMATICO SOPRAORDINARIO
DELLO STVDIO DI PISA.
E Filoſofo, e Matematico primario del
SERENISSIMO
GR.DVCA DI TOSCANA.
Doue ne i congreſſi di quattro giornate ſi diſcorre
ſopra i due
MASSIMI SISTEMI DEL MONDO
TOLEMAICO, E COPERNICANO;
Proponendo indeterminatamente le ragioni Filoſofiche, e Naturali tanto per l'vna, quanto per l'altra parte.

CON PRI  VILEGI.

IN FIORENZA, Per Gio: Batiſta Landini MDCXXXII.
CON LICENZA DE' SVPERIORI.

Η σελίδα τίτλου του βιβλίου του Γαλιλαίου Dialogo - Massimi Sistemi del Mondo, Tolemaico e Copernico, *Φλωρεντία, 1632.*

ο οποίος ύστερα από συνεννοήσεις με τον Πάπα πρότεινε να συγκροτηθεί μια επιτροπή από θεολόγους, που θα εξέταζε τα επίμαχα σημεία των έργων του Γαλιλαίου και θα κοινοποιούσε τα συμπεράσματά της. Η επιτροπή ανέλαβε να εκφράσει τη γνώμη της για την εγκυρότητα της πρότασης ότι «ο ήλιος είναι στο κέντρο του κόσμου και είναι απολύτως ακίνητος», καθώς και της πρότασης ότι «η γη δεν είναι στο κέντρο του κόσμου και εκτελεί ημερήσια κίνηση». Η επιτροπή θεώρησε ότι και οι δύο προτάσεις είναι «ανόητες και γελοίες από φιλοσοφική άποψη» και επίσης αιρετικές, αφού έρχονται σε αντίθεση με όσα γράφει η Βίβλος.

Το πόρισμα της επιτροπής ανακοινώθηκε στην τακτική συνεδρίαση της Ιεράς Εξέτασης, στις 25 Φεβρουαρίου 1616. Όπως διαβάζουμε στα *Πρακτικά* της Ιεράς Εξέτασης, ύστερα απ' αυτό ο Πάπας ζήτησε από τον καρδινάλιο Bellarmine να «καλέσει το Γαλιλαίο ενώπιόν του και να του ζητήσει να απαρνηθεί αυτές τις απόψεις. Αν αρνηθεί να υπακούσει, ο γραμματέας [της Ιεράς Εξέτασης], με την παρουσία ενός συμβολαιογράφου [γραμματικού] και μαρτύρων, θα του αποδώσει δικαστική εντολή που θα τον καλεί να απέχει εντελώς από τη διδασκαλία και την υπεράσπιση αυτού του δόγματος και [της] άποψης, και από τη συζήτησή της. Εάν [όμως] δε συμφωνήσει, τότε θα πρέπει να φυλακιστεί».

Το απόσπασμα αυτό των *Πρακτικών* της Ιεράς Εξέτασης έχει ιδιαίτερη σημασία. Ο Πάπας αναθέτει την αποστολή σε ένα φίλο του Γαλιλαίου, τον καρδινάλιο Bellarmine. Το πρώτο πράγμα που θα όφειλε να κάνει ο Bellarmine ήταν να ζητήσει από το Γαλιλαίο να εγκαταλείψει αυτές τις απόψεις. Αν ο Γαλιλαίος συμφωνούσε, τότε το θέμα θα έληγε. Μόνο αν ο Γαλιλαίος δήλωνε ότι αρνείται να εγκαταλείψει αυτές τις απόψεις, *τότε και μόνον τότε* θα έπρεπε να προχωρήσουν στο δεύτερο στάδιο της απόφασης, που ήταν η απόδοση - παρουσία του γραμματέα της Ιεράς Εξέτασης, ενός γραμματικού και μαρτύρων - της (δικαστικής) εντολής σχετικά με τις διάφορες απαγορεύσεις. Κι αν αρνιόταν και αυτό, τότε και μόνο τότε θα έπρεπε να φυλακιστεί. Πρέπει να τονιστεί ότι η απόφαση ήταν έτσι διατυπωμένη, ώστε - εάν ο Γαλιλαίος συμφωνούσε να εγκαταλείψει τις απόψεις του - δε φαίνεται ότι θα του απαγορευόταν να τις συζητά ή να τις διδάσκει. Το σημαντικό ήταν να δηλώσει ότι δεν τις πιστεύει. Αν δεν τις πίστευε, τότε - όπως είχε ήδη γίνει σε άλλες περιπτώσεις με προεξέχουσα εκείνη του Κοπέρνικου - ήταν δυνατόν αυτές να συζητιούνται και να διδάσκονται ως υποθέσεις που καθιστούν ευκολότερη την κατανόηση της φύσης, και όχι αναγκαστικά ως υποθέσεις που εκφράζουν τη φυσική πραγματικότητα.

Ο καρδινάλιος Bellarmine παράγγειλε στο Γαλιλαίο να έλθει στο σπίτι του το πρωί της επόμενης μέρας, 26 Φεβρουαρίου 1616. Στο μεταξύ, όμως, και πριν φτάσει ο Γαλιλαίος, είχαν έρθει στο σπίτι του Bellarmine ο γραμματέας της Ιεράς Εξέτασης μαζί με ένα γραμματικό και ορισμένους Δομινικανούς μοναχούς. Ο Bellarmine ζήτησε από το Γαλιλαίο να εγκαταλείψει τις λανθασμένες απόψεις. Προτού προλάβει να απαντήσει ο Γαλιλαίος, πήρε το λόγο ο γραμματέας της Ιεράς Εξέτασης λέγοντάς του ότι θα πρέπει να απέχει εντελώς από τη διδασκαλία και την υπεράσπιση αυτού του δόγματος και αυτής

της άποψης, καθώς και από τη συζήτησή της· σε αντίθετη περίπτωση, θα άρχιζαν οι διαδικασίες φυλάκισής του. Ο Γαλιλαίος δέχτηκε να υπακούσει. Η παραπάνω αφήγηση των γεγονότων περιέχεται σ' ένα *ανυπόγραφο* έγγραφο της 26ης Φεβρουαρίου 1616, το οποίο παρουσιάζεται αργότερα, κατά τη διάρκεια της δίκης του Γαλιλαίου το 1633.

Όπως θα δούμε, το έγγραφο αυτό έπαιξε εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στις εξελίξεις. Ο λόγος είναι ο εξής: στο έγγραφο αναφέρεται ρητά ότι απαγορεύεται στο Γαλιλαίο να συζητά και να διδάσκει τις απόψεις για την ακινησία του ηλίου και την κίνηση της γης. Γνωρίζουμε από τα *Πρακτικά* ότι στη διάρκεια της επόμενης τακτικής συνεδρίασης της Ιεράς Εξέτασης, στις 3 Μαρτίου 1616, ο καρδινάλιος Bellarmine ενημέρωσε τα υπόλοιπα μέλη ότι ο «μαθηματικός Γαλιλαίος συμφώνησε με την εντολή της Ιεράς Εξέτασης να εγκαταλείψει τις απόψεις που είχε έως τότε ότι ο ήλιος είναι ακίνητος στο κέντρο των σφαιρών, ενώ η γη είναι σε κίνηση». Έτσι, η Ιερά Εξέταση έμεινε με την εντύπωση ότι η απόφασή της είχε υλοποιηθεί. Τα μέλη της, μη γνωρίζοντας την ύπαρξη του ανυπόγραφου εγγράφου αρκέστηκαν στην ανακοίνωση του Bellarmine, θεώρησαν, λοιπόν, ότι δεν απαγορευόταν στο Γαλιλαίο να συζητά και να διδάσκει τις επίμαχες απόψεις. Αρκούσε το ότι είχε δηλώσει πως δεν τις πίστευε. Αντίθετα, αν τα μέλη της Ιεράς Εξέτασης γνώριζαν το περιεχόμενο του εγγράφου, γνώριζαν δηλαδή ότι είχε ζητηθεί από το Γαλιλαίο (μέσω του Bellarmine) να εγκαταλείψει τις απόψεις του και επιπλέον (μέσω του γραμματέα) να μην τις συζητά και να μην τις διδάσκει, τότε ο Γαλιλαίος - έχοντας δηλώσει ότι συμφωνεί - θα όφειλε να υπακούσει και στα δύο: όχι μόνο να εγκαταλείψει τις ιδέες του, αλλά επίσης να μην τις συζητά ούτε να τις διδάσκει.

Ο Γαλιλαίος με επιστολή του στις 6 Μαρτίου 1616 ενημερώνει τον πρέσβη της Τοσκάνης (δηλαδή των Μεδίκων) στη Ρώμη για τις εξελίξεις. Ουσιαστικά του λέει πως η επίσκεψή του στη Ρώμη είχε στεφθεί με απόλυτη επιτυχία. Χωρίς να αναφέρει όλες τις λεπτομέρειες περιγράφει ωραιοποιημένα την κατάσταση λέγοντας ότι βγαίνει δικαιωμένος, ότι πουθενά σε δημόσιο έγγραφο δεν υπάρχει τίποτα εναντίον του και ότι για όλα φταίνε οι εχθροί του.

Οι φήμες όμως οργίαζαν. Πολλοί φίλοι του Γαλιλαίου, από διάφορα μέρη της Ιταλίας, του έγραφαν ότι είχαν ακούσει πως είχε τιμωρηθεί από την Ιερά Εξέταση. Ο Γαλιλαίος προσκόμισε τα γράμματα αυτά στον Bellarmine και του ζήτησε να του δώσει μια επιστολή, που να αντικρούει αυτές τις φήμες. Ο Bellarmine πείστηκε να δώσει την επιστολή. Το κείμενο αυτό της



SIDEREVS
NVNCIVS
MAGNA, LONGEQVE ADMIRABILIA
Spectacula pandens, suspiciendaque proponens
vnicuique, præsertim verò
PHILOSOPHIS, atq. ASTRONOMIS, quæ à
GALILEO GALILEO
PATRITIO FLORENTINO
Patauini Gymnasij Publico Mathematico
PERSPICILLI
Nuper à se reperti beneficio sunt obseruata in LVNÆ FACIE, FIXIS INNVMERIS, LACTEO CIRCVLO, STELLIS NEBVLOSIS,
Apprime verò in
QVATVOR PLANETIS
Circa IOVIS Stellam disparibus interuallis, atque periodis, celeritate mirabili circumuolutis; quos, nemini in hanc vsque diem cognitos, nouissimè Author deprehendit primus; atque
MEDICEA SIDERA
NVNCVPANDOS DECREVIT.

VENETIIS, Apud Thomam Baglionum. M DC X.
Superiorum Permissu, & Priuilegio.

Η σελίδα τίτλου του βιβλίου του Γαλιλαίου Sidereus Nuncius, *Βενετία, 1610.*

26ης Μαΐου 1616 δηλώνει ότι αυτά που ακούγονται για το Γαλιλαίο είναι ψέματα, ότι αυτός δεν τιμωρήθηκε για τις απόψεις του· επίσης, στο κείμενο αναφέρεται ότι ανακοινώθηκε στο Γαλιλαίο η απόφαση του Πάπα και της Ιεράς Εξέτασης, σύμφωνα με την οποία «δεν είναι δυνατό να υπερασπίζεται και να υποστηρίζει κάποιος» το δόγμα - που αποδίδεται στον Κοπέρνικο - ότι η γη κινείται γύρω από τον ήλιο, αφού αυτό είναι αντίθετο με τις Γραφές.

Έτσι, τελείωσε αυτή η εξαιρετικά σύνθετη και πολυσυζητημένη περίοδος της ζωής του Γαλιλαίου. Ύστερα από πέντε περίπου μήνες παραμονής στη Ρώμη ο Γαλιλαίος επέστρεψε στη Φλωρεντία. Ενώ είχε πάει στη Ρώμη ουσιαστικά ως κατηγορούμενος, στη διάρκεια της παραμονής του κατάφερε να αποσπάσει την εύνοια του Πάπα, να μην του απαγορευτεί η συζήτηση και η διδασκαλία των απόψεων του Κοπέρνικου, και να διευρύνει τον κύκλο των υποστηρικτών του.

Το 1623 εκλέγεται νέος Πάπας ο Maffeo Barberini (Ουρβανός ο Η΄), παλιός φίλος του Γαλιλαίου. Την άνοιξη του 1624 ο Γαλιλαίος αποφασίζει να μεταβεί και πάλι στη Ρώμη, για να τον συναντήσει. Στη Ρώμη παρέμεινε έξι εβδομάδες, στη διάρκεια των οποίων συναντήθηκε με τον Πάπα έξι φορές. Δεν υπάρχουν λεπτομέρειες των συνομιλιών τους. Αλλά, με έμμεσο τρόπο μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο Πάπας δε θεωρούσε την κοπερνίκεια υπόθεση ως αιρετική. Πάντως, είναι σαφές ότι όταν ο Γαλιλαίος επέστρεψε στη Φλωρεντία θεώρησε πως είχε τη συναίνεση του Πάπα να προχωρήσει στη συγγραφή ενός βιβλίου για τις παλίρροιες, η ύπαρξη των οποίων πίστευε ότι οφείλεται στην περιστροφή της γης.

Ο τίτλος του βιβλίου είναι *Διάλογοι σχετικά με τα δύο κύρια συστήματα του κόσμου, το πτολεμαϊκό και το κοπερνίκειο.* Εκδόθηκε το 1632 και είναι γραμμένο στα ιταλικά. Έχει τη μορφή διαλόγου ανάμεσα σε τρία πρόσωπα. Ο Salviati, ένας γνωστός του Γαλιλαίου που είχε πεθάνει στην Ισπανία το 1614, ήταν ο συνομιλητής που «εκπροσωπούσε» το Γαλιλαίο και ανέπτυσσε τα επιχειρήματα υπέρ του κοπερνίκειου συστήματος αποκρούοντας τα επιχειρήματα υπέρ του πτολεμαϊκού. Το πρόσωπο που εμφανιζόταν να εκφράζει την αριστοτελική φιλοσοφία είχε το όνομα του Σιμπλίκιου, ενός από τους πιο γνωστούς και έγκυρους σχολιαστές του Αριστοτέλη. Τέλος, ο Sagredo εμφανιζόταν ως ο μη ειδικός, ως ένας άνθρωπος που προσπαθούσε να καταλάβει ποια πλευρά είχε τα πιο πειστικά επιχειρήματα.

Οι *Διάλογοι* διαδραματίζονται στη διάρκεια τεσσάρων ημερών. Την πρώτη μέρα συζητείται η διάκριση του Αριστοτέλη ανάμεσα στα ουράνια σώματα και στα γήινα στοιχεία, καθώς και οι κινήσεις που αντιστοιχούν σε αυτά τα διαφορετικά «είδη» σωμάτων. Στη διάρκεια της δεύτερης μέρας μελετώνται συστηματικά όλες οι αντιρρήσεις σχετικά με την περιστροφή της γης και αναπτύσσεται η συλλογιστική για τη «διατήρηση της κίνησης» - η αρχική διατύπωση της έννοιας που σήμερα αποκαλείται *αδράνεια.* Την τρίτη μέρα συζητιούνται τα φαινόμενα που συνδέονται με την περιστροφή της γης γύρω από τον ήλιο και χρησιμοποιείται το κοπερνίκειο σύστημα, για να γίνει κατανοητή η πορεία που φαίνεται να διαγράφουν οι ηλιακές κηλίδες. Η τέταρτη μέρα ήταν αφιερωμένη στην

ανάλυση του φαινομένου των παλιρροιών. Ο Γαλιλαίος, μέσω του Salviati, υποστηρίζει ότι η ύπαρξη των παλιρροιών θα ήταν αδύνατη σε μια ακίνητη γη, και ότι η κατανόησή τους συνεπάγεται μια νέα αστρονομία. Σήμερα γνωρίζουμε ότι η θεωρία του Γαλιλαίου για τις παλίρροιες ήταν εσφαλμένη, ωστόσο αποτέλεσε την αφορμή για τη συγγραφή αυτού του τόσο σημαντικού για την ιστορία της επιστήμης βιβλίου.

Η δίκη του 1633

Τα θέματα που εξετάζονται στους *Διαλόγους* και ο τρόπος με τον οποίο αυτά εξετάζονται προκάλεσαν νέα προβλήματα παρά το γεγονός ότι το έργο έτυχε ευνοϊκής υποδοχής από σχετικά ευρύ κύκλο επιστημόνων. Οι αντίπαλοι του Γαλιλαίου μέσα στην Εκκλησία - και ενώ ο Bellarmine είχε πεθάνει από το 1621 - γνωστοποίησαν στον Πάπα το ανυπόγραφο έγγραφο, στο οποίο έχουμε αναφερθεί. Ο Πάπας θεώρησε ότι τα γεγονότα που περιέγραφε το έγγραφο ήταν αληθινά και ότι ο Γαλιλαίος του τα είχε αποκρύψει στη διάρκεια των συναντήσεών τους, και, άρα, είχε παραβιάσει την εντολή της Εκκλησίας με την απόφασή του να προχωρήσει στην έκδοση των *Διαλόγων*.

Το καλοκαίρι του 1632 με απόφαση της Ιεράς Εξέτασης, διατάχθηκε να σταματήσουν όλες οι πωλήσεις του βιβλίου και να κατασχεθούν όλα τα αντίγραφα. Παράλληλα, ο Πάπας όρισε μια τριμελή επιτροπή, για να εξετάσει το περιεχόμενό του. Στο πόρισμά της επιβεβαίωνε τις κατηγορίες εναντίον του βιβλίου. Στη συνεδρίαση της Ιεράς Εξέτασης στις 23 Σεπτεμβρίου 1632 αποφασίζεται να κληθεί ο Γαλιλαίος στη Ρώμη, για να δικαστεί.

Στις 13 Φεβρουαρίου 1633 ο Γαλιλαίος φτάνει στην πρεσβεία της Τοσκάνης στη Ρώμη, όπου του κοινοποιείται η διαταγή να μείνει σε απομόνωση και να μη συναναστρέφεται κανέναν. Ο νέος πρέσβης της Τοσκάνης στη Ρώμη τον ενημερώνει για ό,τι μπόρεσε να μάθει σχετικά με τις κατηγορίες. Όπως φαίνεται, ο Γαλιλαίος πίστευε ότι θα αντιμετώπιζε με επιτυχία τις κατηγορίες. Στις αρχές του Απριλίου 1633 ειδοποιείται - μέσω του πρέσβη της Τοσκάνης - ότι πλησιάζει η ημέρα της δίκης του και ότι θα πρέπει να πάει στο Παλάτι της Ιεράς Εξέτασης και, ενδεχομένως, να κρατηθεί εκεί.

Στις 12 Απριλίου 1633 γίνεται η πρώτη κατάθεση του Γαλιλαίου ενώπιον της Ιεράς Εξέτασης. Οι ερωτήσεις των ιεροεξεταστών περιστράφηκαν γύρω από τα γεγονότα του 1616. Ο Γαλιλαίος ανακοίνωσε την ύπαρξη της επιστολής που του είχε δώσει ο Bellarmine τον Μάιο του 1616, και υποστήριξε ότι δε θυμόταν να του είχε απαγγελθεί (δικαστική) εντολή η οποία του απαγόρευε να διδάσκει την κίνηση της γης. Υποστήριξε, επίσης, ότι τίποτα από αυτά που αναλύονται στο βιβλίο δεν παραβίαζε τις αποφάσεις της Ιεράς Εξέτασης, όπως του είχαν ανακοινωθεί από τον Bellarmine. Σε αυτή την πρώτη κατάθεση και οι δύο πλευρές πρέπει να ξαφνιάστηκαν. Οι μεν ιεροεξεταστές δε γνώριζαν την ύπαρξη της επιστολής του Bellarmine προς το Γαλιλαίο (αφού ο Bellarmine του την είχε δώσει ανεπίσημα και όχι στο πλαίσιο των διαδικασιών της Ιεράς Εξέτασης) ο δε Γαλιλαίος άκουγε για πρώτη φορά την ύπαρξη και το περιεχόμενο του ανυπόγραφου εγγράφου.

Οι ιεροεξεταστές κατέληξαν στην απόφαση να μην επιμείνουν στην βαριά κατηγορία της παραβίασης της (δικαστικής) εντολής, υπό την προϋπόθεση ότι ο Γαλιλαίος θα δήλωνε πως ακούσια παραβίασε την εντολή που του είχε δοθεί το 1616 να μην υπερασπίζεται το κοπερνίκειο σύστημα. Με αυτό τον τρόπο η Ιερά Εξέταση θα κατάφερνε να αποσπάσει μια ομολογία ενοχής από το Γαλιλαίο και ως αντάλλαγμα δε θα προχωρούσε στην επιβολή ποινών, που θα αντιστοιχούσαν στις βαρύτερες κατηγορίες.

Ζητήθηκε, λοιπόν, από τρεις συμβούλους της Ιεράς Εξέτασης να γνωματεύσουν κατά πόσο ο Γαλιλαίος στους *Διαλόγους* υποστήριζε ως πραγματική την κίνηση της γης. Ο τρεις εκθέσεις κατέληγαν κατηγορηματικά ότι ο Γαλιλαίος υποστηρίζει ρητά την κίνηση της γης και είναι σχεδόν βέβαιο ότι την πιστεύει. Ο γραμματέας της Ιεράς Εξέτασης πρότεινε στο Γαλιλαίο να δεχτεί την ενοχή του και να δηλώσει ότι δεν είχε καμιά πρόθεση να βλάψει την Εκκλησία. Ο Γαλιλαίος δέχτηκε την πρόταση και ζήτησε μερικές μέρες προθεσμία, για να σκεφθεί έναν αξιοπρεπή τρόπο να ομολογήσει την ενοχή του.

Στις 30 Απριλίου 1633 ο Γαλιλαίος εμφανίστηκε για δεύτερη φορά ενώπιον της Ιεράς Εξέτασης δηλώνοντας ότι τον απασχολούσε μήπως χωρίς να το θέλει είχε κάνει κάποιο λάθος. Συνειδητοποίησε ότι δεν είχε διαβάσει το βιβλίο του από τότε που είχε ολοκληρώσει το χειρόγραφο. Ξαναδιαβάζοντάς το κατάλαβε ότι μπορεί να δίνει την εντύπωση στον αναγνώστη ότι ο συγγραφέας υποστήριζε την κίνηση της γης, ενώ αυτό δεν ήταν στις προθέσεις του. «Το βρήκα» σημείωνε στη δήλωσή του ο Γαλιλαίος «σαν να ήταν ένα άλλο βιβλίο [γραμμένο] από άλλο συγγραφέα». «Το λάθος μου ήταν, και το ομολογώ, η ματαιοδοξία, η καθαρή άγνοια και η απροσεξία». Στη διάρκεια αυτής της συνεδρίασης ο Γαλιλαίος πρότεινε να προσθέσει μία ακόμη ημέρα συζητήσεων στους *Διαλόγους*, διορθώνοντας όλα αυτά τα προβλήματα, δεδομένου μάλιστα ότι στο τέλος του βιβλίου οι συζητητές αποφασίζουν να ξαναβρεθούν ύστερα από κάποιο διάστημα έχοντας ξανασκεφθεί τα διάφορα επιχειρήματα. Η Ιερά Εξέταση δεν απάντησε σε αυτή την πρόταση του Γαλιλαίου.

Στις 10 Μαΐου 1633 ο Γαλιλαίος παρουσιάστηκε για τρίτη φορά ενώπιον της Ιεράς Εξέτασης. Του ανακοινώθηκε πως μέσα σε οκτώ ημέρες θα έπρεπε να έχει ολοκληρώσει την υπεράσπισή του. Ο Γαλιλαίος δήλωσε πως δεν είχε να προσθέσει τίποτα το καινούριο και κατέθεσε μια γραπτή ομολογία που περιείχε το σκεπτικό της ενοχής του. Μαζί μ' αυτήν κατέθεσε και την πρωτότυπη επιστολή που του είχε δώσει ο Bellarmine. Η δίκη του Γαλιλαίου θα μπορούσε να είχε ολοκληρωθεί σ' αυτό το σημείο. Ο Πάπας, όμως, αρνήθηκε να αποδεχτεί το πολυσέλιδο πόρισμα για τη δίκη που ετοίμασαν οι ιεροεξεταστές, γιατί δεν προέβλεπε καμία ποινή. Έδωσε εντολή στην Ιερά Εξέταση να ανακριθεί ο Γαλιλαίος κάτω από την απειλή βασανιστηρίων, ώστε να διαπιστωθούν οι πραγματικές προθέσεις του.

Στις 21 Ιουνίου 1633 ο Γαλιλαίος παρουσιάστηκε ενώπιον της Ιεράς Εξέτασης και έδωσε τις ίδιες απαντήσεις στις ερωτήσεις που του έγιναν, δηλώνοντας ότι θέτει τον εαυτό του στη διάθεση της Ιεράς Εξέτασης. Την επομένη συντάχθηκε η καταδικαστική απόφαση. Θεωρήθηκε ένοχος λόγω της «σοβαρότατης υπόνοιας» πως αυτά που πιστεύει εί-

ναι αιρετικά. Ήταν μια πολύ σοβαρή κατηγορία. Όπως γράφεται στο κείμενο της απόφασης, η Ιερά Εξέταση ήταν διατεθειμένη να τον απαλλάξει από τις κατηγορίες, υπό την προϋπόθεση ότι θα απαρνηθεί ενώπιόν της τα λάθη του. Την απόφαση υπέγραψαν 7 από τα 10 μέλη της Ιεράς Εξέτασης. Την ίδια μέρα ο Γαλιλαίος συνέταξε την ομολογία του, στην οποία δέχεται πως αυτά που έγραψε στο βιβλίο συνιστούν σοβαρά παραπτώματα, στα οποία υπέπεσε λόγω ματαιοδοξίας.

Ας επαναλάβουμε πως ο Γαλιλαίος δε βρέθηκε σε αντίθεση με το σύνολο της Εκκλησίας. Υπήρχαν πολλοί ανώτεροι και κατώτεροι κληρικοί, που κατά καιρούς ήταν σύμμαχοί του. Μάλιστα, σε ορισμένες περιπτώσεις τον υποστήριξε και ο ίδιος ο Πάπας. Από την άλλη πλευρά, δεν ήταν λίγες οι περιπτώσεις φιλοσόφων και αστρονόμων που ήταν εναντίον του. Άρα δεν έχουμε να κάνουμε με δύο αντίπαλα «στρατόπεδα», τους κληρικούς και τους επιστήμονες. Η διαπίστωση αυτή έχει πολύ μεγάλη σημασία για την ιστορία της επιστήμης: πρέπει να μελετάμε το κάθε συγκεκριμένο ιστορικό γεγονός λαμβάνοντας υπόψη όλα τα στοιχεία που το συνθέτουν, αποφεύγοντας τη χρήση ερμηνευτικών σχημάτων του τύπου «προοδευτικοί επιστήμονες και συντηρητική εκκλησία», που πολλές φορές έχουν ιδεολογικές αφετηρίες. Αυτό που μας ενδιαφέρει στην προκειμένη περίπτωση είναι να κατανοήσουμε γιατί κάποιοι κληρικοί ήταν με το μέρος του Γαλιλαίου και γιατί ορισμένοι φιλόσοφοι και αστρονόμοι ήταν εναντίον του.

Παρά το γεγονός ότι η ποινή για το συγκεκριμένο αδίκημα ήταν φυλάκιση, ο Πάπας μετέτρεψε την ποινή του Γαλιλαίου σε κατ' οίκον περιορισμό. Τα οκτώ τελευταία χρόνια της ζωής του έμενε σ' ένα μικρό κτήμα που είχε στο Arcetri, κοντά στη Φλωρεντία. Εκεί ολοκλήρωσε το βιβλίο του *Δύο νέες επιστήμες*, το οποίο εκδόθηκε στην Ολλανδία, αφού δεν μπορούσε πια να δημοσιεύει έργα του στην Ιταλία. Το 1637 ήταν σχεδόν τυφλός, αλλά συνέχισε με πάθος την αλληλογραφία του και υπαγόρευε στους μαθητές του V. Viviani (Βιβιάνι, 1622-1703) και E. Torricelli τις τελευταίες θεωρίες του για τη μηχανική. Πέθανε στο Arcetri το 1642. Σ' όλη τη διάρκεια της κράτησής του δεν του επιτράπηκε ποτέ να πάει στην εκκλησία, παρά τις επίμονες προσπάθειές του.

Ερωτήσεις

1) Θα μπορούσατε να μετρήσετε και εσείς το χρόνο ενός πειράματος με το βάρος (ή και με τη μάζα) νερού. Αυτό θα μπορούσε να γίνει με εκκρεμή. Επινοήστε έναν τρόπο να τρέχει νερό με σταθερή ροή. Μπορείτε, π.χ., να μετρήσετε το νερό που μαζεύεται ύστερα από πέντε ταλαντώσεις και να το συγκρίνετε με τη μάζα του νερού ύστερα από δέκα ταλαντώσεις. Θα είχε, επίσης, ενδιαφέρον να μετρήσετε τη διαφορά στο χρόνο πέντε ταλαντώσεων ανάμεσα σε δύο εκκρεμή, όπου το ένα θα έχει τετραπλάσιο μήκος νήματος από το άλλο. Ελέγ-

ξτε το σύστημα μέτρησης που επινοήσατε με το χρόνο που μετράει ένα ρολόι. Πού μπορεί να οφείλονται οι διαφορές;

2) Διαβάσαμε ότι ο Γαλιλαίος, όταν «δώρισε» το τηλεσκόπιο στην κυβέρνηση της Βενετίας, ζήτησε έμμεσα να του δοθεί μονιμότητα στο πανεπιστήμιο και να αυξηθεί ο μισθός του. Επίσης, είναι γνωστό ότι όταν ανακάλυψε τους δορυφόρους του Δία τους έδωσε τα ονόματα της οικογένειας των Μεδίκων. Ποια η γνώμη σας για τέτοιου είδους «μεθοδεύσεις»; Ορισμένοι ισχυρίζονται πως οι επιστήμονες πρέπει να ενδιαφέρονται μόνο για την επιστήμη και δεν πρέπει να κάνουν κανένα συμβιβασμό, όταν πρόκειται για την αναζήτηση της αλήθειας. Άλλοι υποστηρίζουν πως οι επιστήμονες πρέπει να δημιουργούν και τις ανάλογες κοινωνικές σχέσεις, ώστε να αισθάνονται ασφαλείς ότι δε θα διωχθούν αν η αλήθεια που θα ανακαλύψουν είναι «ενοχλητική». Τέλος, κάποιοι σημειώνουν πως οι επιστήμονες είναι και αυτοί άνθρωποι με ανάγκες και αδυναμίες και πως ουσιαστικά κάνουν αυτά που κάνουν και τα υπόλοιπα μέλη μιας κοινωνίας. Τα παραπάνω σχετίζονται με τα ηθικά προβλήματα που προκύπτουν από τη συμπεριφορά των επιστημόνων. Εσείς με ποια από τις παραπάνω απόψεις συμφωνείτε; Αναπτύξτε τους λόγους για τους οποίους συμφωνείτε με κάποια από τις παραπάνω απόψεις, και τους λόγους για τους οποίους διαφωνείτε με τις άλλες. Νομίζετε πως τέτοια στοιχεία είναι σημαντικά στην ιστορία των επιστημών; Νομίζετε πως η προσωπική στάση των επιστημόνων σε τέτοια θέματα μπορεί να επηρεάσει τη σκέψη τους; (*)

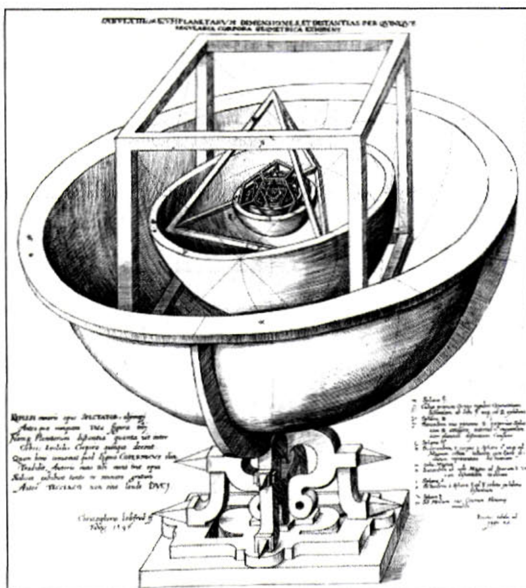
3) Ποια πλευρά είχε τελικά δίκιο στην περίπτωση του Γαλιλαίου; Σήμερα, βεβαίως, γνωρίζουμε ότι πολλά από αυτά που είπε ήταν σωστά και αρκετά από αυτά που έγραψε βοήθησαν άλλους επιστήμονες να διατυπώσουν σωστές θεωρίες. Ωστόσο, δεν πρέπει να κρίνουμε το παρελθόν με βάση αυτά που γνωρίζουμε σήμερα. Με βάση, λοιπόν, την πραγματικότητα της εποχής του Γαλιλαίου πώς θα μπορούσαμε να απαντήσουμε στο παραπάνω ερώτημα; [Θα είχε ενδιαφέρον, αφού συγκροτηθούν τρεις ομάδες στην τάξη - η μία να απαρτίζεται από μαθητές και μαθήτριες που θα υποστηρίζουν πως ο Γαλιλαίος είχε δίκιο, η δεύτερη από παιδιά που θα υποστηρίζουν πως η Εκκλησία είχε δίκιο και η τρίτη από μαθητές που δε θα έχουν ακόμα καταλήξει ποια άποψη να συμμεριστούν και ταλαντεύονται - να γίνει συζήτηση ανάμεσά τους και να καταγραφούν τα διάφορα επιχειρήματα. Τα παιδιά της τρίτης ομάδας θα μπορούσαν να υποβάλουν διάφορες ερωτήσεις στις δύο άλλες ομάδες. Τέλος, καλό θα ήταν να καταγραφούν τα πρόσθετα στοιχεία που χρειάζονται για την πληρέστερη συζήτηση αυτού του θέματος, τα οποία δεν υπάρχουν μεν στο βιβλίο, αλλά θα μπορούσαν να αναζητηθούν.] (*)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Ο JOHANNES KEPLER

1 ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΙΔΕΕΣ ΤΟΥ KEPLER ΓΙΑ ΤΟ ΠΛΑΝΗΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Το 1596 δημοσιεύτηκε το βιβλίο του Johannes Kepler (Κέπλερ), γνωστό με τον τίτλο *Mysterium Cosmographicum* [Κοσμογραφικό Μυστήριο]. Για το σημερινό αναγνώστη, αυτό το βιβλίο - όπως και όλα τα υπόλοιπα βιβλία του - είναι δύσκολο και ερμητικό, αλλά η μελέτη του μπορεί να μας αποκαλύψει τις νεανικές ιδέες του συγγραφέα. Από τα πρώτα κιόλας έργα του ο Κέπλερ εξέφρασε την πίστη του στο ηλιοκεντρικό σύστημα. Σ' αυτό το έργο προσπαθεί μέσα από τη μελέτη της δομής του ηλιοκεντρικού συστήματος, του οποίου την ορθότητα αποδέχεται εξ' αρχής, να ανακαλύψει το μυστικό της «κρυμμένης αρμονίας», που τελικά θα μας αποκαλύψει και τη θεϊκή σκέψη που το κατασκεύασε. Το ερώτημα που τον απασχολεί είναι γιατί ο Θεός επέλεξε να κατασκευάσει ένα σύμπαν με έξι πλανήτες αντί για επτά. (Υπενθυμίζεται ότι η σελήνη, η οποία στο πτολεμαϊκό σύστημα ήταν πλανήτης, στο κοπερνίκειο είναι δορυφόρος της γης.) Η επιλογή αυτή του Θεού, κατά τον Κέπλερ, οφείλεται στο γεγονός ότι η μυστική αρμονία του κόσμου εδράζεται στα κανονικά πολύεδρα. Ο Κέπλερ θεωρεί ότι βρήκε το μυστικό της θεϊκής κατασκευής: επειδή υπάρχουν πέντε μόνο κανονικά πολύεδρα (τετράεδρο, εξάεδρο, οκτάεδρο, δωδεκάεδρο, εικοσάεδρο), αν στη σφαίρα που ορίζεται από την επιβατική ακτίνα του Κρόνου εγγραφεί ένα κανονικό εξάεδρο, (κύβος), η ακτίνα της εγγεγραμμένης στον κύβο σφαίρας θα είναι η ακτίνα του Δία και ούτω καθεξής (βλ. σχήμα). Τα πέντε κανονικά πολύεδρα ορίζουν, λοιπόν, τους χώρους ανάμεσα στις έξι



Κέπλερ, το μοντέλο του πλανητικού συστήματος με κανονικά πολύεδρα. Εικόνα από το βιβλίο του Mysterium Cosmographicum.

συνολικά σφαίρες. Και αφού υπάρχουν μόνο πέντε κανονικά πολύεδρα, δεν μπορεί παρά να υπάρχουν έξι μόνο πλανήτες.

Στο πρώτο αυτό έργο του ο Κέπλερ ακολουθεί την κοπερνίκεια προσέγγιση όχι μόνο σε ό,τι αφορά τη θέση του ήλιου και των πλανητών αλλά σε κάτι πολύ ουσιαστικότερο, στην πεποίθηση ότι η αρμονία με την οποία ο Θεός προίκισε το δημιούργημά του δεν μπορεί παρά να εκφράζεται γεωμετρικά. Όταν ανακαλύπτει ότι η θεωρία του αποκλίνει πολύ στις περιπτώσεις του Ερμή και του Κρόνου, αναστατώνεται, αλλά δεν απογοητεύεται. Η εμμονή του στην ορθότητα της ιδέας του τον οδηγεί στην απόφαση που έμελλε να καθορίσει όλα τα μελλοντικά επιστημονικά επιτεύγματά του. Αποδίδει την αποτυχία του στην αναξιοπιστία των παρατηρήσεων των αρχαίων, που είχε στη διάθεσή του, και αποφασίζει να προσπαθήσει να εργαστεί κοντά στον Tycho Brahe, προκειμένου να αποκτήσει πρόσβαση στις δικές του παρατηρήσεις.

2 Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΠΡΩΤΩΝ ΝΟΜΩΝ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

Το 1600 ο Κέπλερ γίνεται βοηθός του Tycho Brahe και, όταν το 1601 αυτός πεθαίνει, οικειοποιείται το σύνολο των παρατηρήσεών του. Σ' ένα γράμμα του το 1605 αναφέρει: «*Εξομολογούμαι ότι όταν πέθανε ο Tycho, εκμεταλλεύτηκα την απουσία των κληρονόμων και πήρα τις παρατηρήσεις υπό την προστασία μου, ή μάλλον τις άρπαξα* ...». Οι αστρονομικές αυτές παρατηρήσεις, καρπός συστηματικής εργασίας πολλών ετών, ήταν η βάση πάνω στην οποία ο Κέπλερ, ύστερα από βασανιστικούς συλλογισμούς και περίπλοκους υπολογισμούς πολλών ετών, με ακλόνητη πίστη στη γεωμετρική αρχιτεκτονική του σύμπαντος και στις αρμονίες που κρύβονται στις κινήσεις των πλανητών, όρθωσε ένα νέο σύστημα του κόσμου. Οι τρεις νόμοι της κίνησης των πλανητών που διατύπωσε αποτέλεσαν την ουσιαστικότερη συμβολή και ταυτόχρονα τη μεγαλύτερη μεταλλαγή της κοπερνίκειας θεωρίας. Ο πρώτος νόμος, που καθιερώνει τις ελλειπτικές τροχιές, έρχεται σε πλήρη ρήξη με τη μεταφυσική πίστη στις κυκλικές τροχιές που είχε επικρατήσει για δεκάδες αιώνες.

ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΝΟΜΟΙ ΤΟΥ ΚΕΠΛΕΡ

1. Οι τροχιές των πλανητών είναι ελλείψεις, η μία από τις εστίες των οποίων είναι ο ήλιος.

2. Η ευθεία γραμμή που συνδέει τον πλανήτη με τον ήλιο (επιβατική ακτίνα) διαγράφει ίσα εμβαδά σε ίσα διαστήματα χρόνου.

3. Τα τετράγωνα των χρόνων της περιφοράς των πλανητών είναι ανάλογα προς τους κύβους των μέσων αποστάσεών τους από τον ήλιο.

Το 1609, ύστερα από οκτώ χρόνια συστηματικής μελέτης και ανάλυσης των παρατηρήσεων του Brahe, ο Κέπλερ δημοσίευσε το δεύτερο βιβλίο του, που είναι γνωστό ως *Astronomia Nova* [Νέα Αστρονομία], στο οποίο παρουσιάζονται οι δύο πρώτοι από τους τρεις νόμους του για την κίνηση των πλανητών. Το βιβλίο, εκτός από τα επιστημονικά συμπεράσματα στα οποία έχει καταλήξει μετά από εργασία πολλών ετών, περιέχει ταυτόχρονα μια συγκλονιστική πνευματική αυτοβιογραφία του δημιουργού του. Περιγράφει όλες τις αρχικές αποτυχημένες προσπάθειές του, τα λάθη του, τις απογοητεύσεις και, βέβαια, τον τελικό θρίαμβο. Σπάνια επιστήμονας υπήρξε τόσο ειλικρινής με τους αναγνώστες του όσο ο Κέπλερ στο βιβλίο αυτό. Επανειλημμένα οι ιστορικοί των επιστημών έχουν μελετήσει και αναλύσει τη βασανιστική και επίπονη πορεία του από τη μεταφυσική πίστη στην τελειότητα των σφαιρών ως την ανακάλυψη των ελλειπτικών τροχιών, μια προσωπική πορεία που προδιαγράφει και την πορεία της επιστήμης τον 17ο αιώνα.

Η ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΤΡΟΧΙΑΣ ΤΟΥ ΑΡΗ

Ο Κέπλερ άρχισε να μελετά την τροχιά του Άρη με βάση τον κύκλο, το τέλειο σχήμα. Οι λόγοι που διάλεξε τον Άρη είναι πολλοί. Η φαινομένη τροχιά του εν λόγω πλανήτη ήταν αυτή που παρουσίαζε τις μεγαλύτερες δυσκολίες να ερμηνευθεί με ένα σύστημα επικύκλων. Ο ίδιος προσωπικά είχε ασχοληθεί με τη συστηματική παρατήρηση και τη μελέτη της συγκεκριμένης τροχιάς ως βοηθός του Brahe, επομένως είχε καλή γνώση του θέματος. Το αρχείο του Brahe είχε πληθώρα παρατηρήσεων της τροχιάς του Άρη.

Από την αρχή της μελέτης, η δική του θεώρηση του προβλήματος διέφερε από όλες τις προηγούμενες. Στις αναλύσεις των προηγούμενων αστρονόμων υπήρχε για κάθε πλανήτη ένας βασικός «φέρων κύκλος» με διάφορους συνδυασμούς έκκεντρων κύκλων και επικύκλων. Ο Κέπλερ αφ' ενός δεν πίστευε στην ύπαρξη ουράνιων σφαιρών και αφ' ετέρου ενδιαφερόταν να κατανοήσει την πραγματική τροχιά και όχι απλώς να περιγράψει τη φαινομένη. Επιχείρησε, λοιπόν, να προσδιορίσει μια απλή κυκλική τροχιά για τον Άρη χωρίς τη χρήση επικύκλων ή έκκεντρων κύκλων. Μια προκαταρκτική ανάλυση έδειξε ότι η τροχιά του είναι σχεδόν κυκλική, μόνο που ο ήλιος δεν ήταν στο κέντρο του κύκλου - απείχε από το κέντρο σχεδόν ένα δέκατο της ακτίνας! Επιπλέον, κατά την περιφορά του, η ταχύτητα του πλανήτη παρουσίαζε μεταβολές: ήταν μεγαλύτερη όταν η απόστασή του από τον ήλιο ήταν ελάχιστη (στο περιήλιο), και μικρότερη, όταν ήταν μέγιστη (στο αφήλιο). Όλοι έως τότε, συμπεριλαμβανομένου και του Κέπλερ, πίστευαν ότι η κίνηση των πλανητών είναι μια ομαλή και άρα μη μεταβλητή κίνηση. Οι πρώτες αυτές διαπιστώσεις τον συγκλονίζουν, αλλά συνεχίζει τις εργασίες του επιμένοντας στη χρήση των κύκλων. Όταν τελειώνει τον πρώτο αυτό προσδιορισμό της τροχιάς ύστερα από κοπιαστικές υπολογιστικές εργασίες δύο ετών, διαπιστώνει ένα σφάλμα 8΄ της τροχιάς που έχει

προσδιορίσει, σε σχέση με τις παρατηρήσεις. Αν λάβουμε υπόψη ότι ο Κοπέρνικος είχε αρκεστεί σε σφάλμα 10΄, μπορούμε να υποθέσουμε ότι κάποιος άλλος θα είχε σταματήσει τις προσπάθειές του ικανοποιημένος, χωρίς όμως να έχει καταφέρει κάτι ουσιαστικό. Όμως η εμμονή του Κέπλερ στην ορθότητα των παρατηρήσεων του Brahe και η πεποίθηση ότι πρέπει να συμφωνούν απόλυτα με την τροχιά που προκύπτει από τους υπολογισμούς ήταν ακλόνητες. Η διαίσθησή του ότι δεν έχει βρει την πραγματική λύση αποδεικνύεται ισχυρότερη από την απογοήτευση και τις φαινομενικά ανυπέρβλητες δυσκολίες. Βάζει στην άκρη όλα τα αποτελέσματα συστηματικής εργασίας δύο ετών και ξαναρχίζει από την αρχή προσπαθώντας να αλλάξει τον τρόπο προσέγγισης του προβλήματος. Ο ίδιος γράφει στην *Astronomia Nova*: *«Εφόσον η θεία χάρις μας παρείχε έναν εξαιρετικά φιλόπονο αστρονόμο, τον Tycho Brahe και από τις παρατηρήσεις του αποκαλύπτεται σφάλμα 8΄ για τον Άρη, πρέπει όχι μόνο να το αναγνωρίσουμε, αλλά και να κάνουμε χρήση αυτού του ωραίου δώρου του Θεού με πνεύμα ευγνωμοσύνης»*. Αυτή η διαφορά των 8΄ αποδείχτηκε το σφάλμα που γκρέμισε τον κύκλο που κυριαρχούσε στην αστρονομία για δύο χιλιάδες χρόνια.

Αυτό που πιστεύει είναι ότι ο Άρης δεν μπορεί να αποτελεί εξαίρεση στην κίνηση των πλανητών. Η αρμονία του σύμπαντος, η ενιαία κρυπτογραφική γλώσσα της φύσης που προσπαθεί να κατανοήσει, δε θα επέτρεπαν μια τέτοια δυνατότητα. Αρχίζει να διαισθάνεται ότι πρέπει να εξετάσει συστηματικά αυτό που κανείς δεν είχε τολμήσει ως τότε να διανοηθεί, δηλαδή το ενδεχόμενο κίνησης του Άρη με *μεταβλητή ταχύτητα σε μια μη κυκλική τροχιά.*

Επιβεβαιώνει ότι η ταχύτητα του πλανήτη είναι μεταβλητή και διατυπώνει, αρχικά, ένα «νόμο ταχυτήτων», που σήμερα γνωρίζουμε ότι δεν ήταν σωστός. Σύμφωνα με αυτό τον νόμο η ταχύτητα του πλανήτη μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα προς την απόσταση από τον έκκεντρο ήλιο. Χρησιμοποιεί τον νόμο αυτό ως κατευθυντήρια γραμμή στις έρευνές του κι έτσι ανακαλύπτει το νόμο που σήμερα γνωρίζουμε ως δεύτερο νόμο του Κέπλερ, ότι δηλαδή η νοητή ευθεία που συνδέει τον πλανήτη με τον ήλιο (επιβατική ακτίνα) διανύει σε ίσους χρόνους ίσα εμβαδά. Στην πραγματικότητα, είχε απλώς διαισθανθεί το νόμο των εμβαδών και τον χρησιμοποιούσε ως υπολογιστικό τέχνασμα για τον προσδιορισμό των θέσεων. Η απόδειξη που δίνει είναι μια διαδοχή λαθών από τα οποία το ένα αναιρεί το άλλο, οι υποθέσεις και ο συλλογισμός που χρησιμοποιεί είναι εξίσου εσφαλμένα, το συμπέρασμα όμως αποδεικνύεται σωστό.

Αξίζει να προσέξουμε ότι η χρονική διαδοχή των ανακαλύψεων δεν ταυτίζεται με τη λογική διαδοχή των νόμων. Ο λογικά πρωθύστερος νόμος είναι ο πρώτος (οι πλανήτες διαγράφουν ελλείψεις, τη μία εστία των οποίων κατέχει ο ήλιος), ενώ ο νόμος που πρώτος ανακαλύφθηκε και διατυπώθηκε είναι ο δεύτερος (ίσα εμβαδά σε ίσους χρόνους). Στην πράξη ο Κέπλερ τόλμησε να τον χρησιμοποιήσει χωρίς να γνωρίζει την ακριβή τροχιά ενός πλανήτη!

Για την ανάλυση της τροχιάς του Άρη ο Κέπλερ χρειάστηκε έξι χρόνια και χιλιάδες σελίδες υπολογισμών, γιατί πρέπει να υπενθυμίσουμε ότι όλα αυτά τα έκανε χωρίς ανα-

λυτική γεωμετρία και χωρίς λογαριθμικούς πίνακες, που θα του επέτρεπαν να κάνει πιο γρήγορα τις πράξεις.

Ύστερα από διαδοχικές αποτυχίες στον προσδιορισμό της πραγματικής τροχιάς του Άρη ο Κέπλερ καταπιάστηκε με το πρόβλημα του προσδιορισμού της τροχιάς της γης, επειδή είχε κατανοήσει ότι έπρεπε πρώτα να έχει μια πολύ ακριβή εικόνα της τροχιάς της γης, αφού όλες οι παρατηρήσεις για την τροχιά του Άρη διεξάγονταν από τη γη. Ο τρόπος που ο Κέπλερ χειρίστηκε το πρόβλημα μας αποκαλύπτει την ιδιοφυΐα του: χρησιμοποίησε τον Άρη ως σταθερό σημείο. Επειδή, όμως, ο Άρης κινείται συνεχώς και αυτό που προσπαθούσε να προσδιορίσει ο Κέπλερ ήταν η τροχιά του Άρη, χρησιμοποίησε το γεγονός ότι ο πλανήτης επανερχόταν στην ίδια θέση κάθε 687,1 ημέρες, όσο διαρκεί η περιφορά του γύρω από τον ήλιο. Ο Κέπλερ χρησιμοποίησε τις παρατηρήσεις του Tycho, για να βρει την ακριβή διεύθυνση του Άρη ως προς τη γη σε διάφορες χρονικές στιγμές μέσα στο χρονικό διάστημα των 687,1 ημερών. Έτσι, γνωρίζοντας τη διεύθυνση στην οποία βρισκόταν ο Άρης και ο Ήλιος αυτές τις συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, είχε τα δύο σημεία που καθόρισαν τη βάση του τριγώνου με κορυφή τη γη, και προσδιόρισε μ' αυτό τον τρόπο την τροχιά της γης.

Αντίθετα από την τροχιά του Άρη, ο Κέπλερ βρήκε ότι η τροχιά της γης είναι ένας τέλειος κύκλος με απόκλιση που δεν ξεπερνά το 1/10.000. Όμως, το κέντρο αυτού του κύκλου απέχει 1,5 εκατομμύρια μίλια από τον ήλιο και η ταχύτητα της γης μεταβάλλεται, παίρνοντας τη μέγιστη τιμή της, όταν απέχει την ελάχιστη απόσταση από τον ήλιο. Ο Κέπλερ κατάφερε να υπολογίσει τους λόγους των ταχυτήτων και τους αντίστοιχους λόγους των αποστάσεων της γης από τον ήλιο στο αφήλιο και το περιήλιο, δηλαδή όταν η γη βρίσκεται στη μεγίστη και στην ελαχίστη απόστασή της από τον ήλιο. Παρατήρησε ότι υπάρχει μια ενδιαφέρουσα σχέση ανάμεσα σ' αυτούς τους αριθμούς. Ο λόγος των ταχυτήτων είναι αντίστροφος του λόγου των αντίστοιχων αποστάσεων.

Βέβαια, ο Κέπλερ έκανε τους υπολογισμούς αυτούς χωρίς να γνωρίζει τις σωστές τιμές των ταχυτήτων και των αποστάσεων. Γνώριζε, όμως, με ακρίβεια τους λόγους. Οι λόγοι των αποστάσεων, άρα και η απόκλιση της τροχιάς από τον κύκλο, ακόμη δε και τα σχετικά μεγέθη των τροχιών των πλανητών μπορούσαν να υπολογιστούν με τις παρατηρήσεις που είχε στη διάθεσή του. Όμως, τα μεγέθη του συνολικού συστήματος δεν ήταν δυνατόν να υπολογιστούν με ακρίβεια. Οι Αρχαίοι Έλληνες, χρησιμοποιώντας γεωμετρία, είχαν υπολογίσει την απόσταση γης-ήλιου. Όμως οι παρατηρησιακές ικανότητές τους δεν ήταν το ίδιο καλές όσο οι ικανότητές τους στην επίλυση γεωμετρικών προβλημάτων. Πιο ακριβείς υπολογισμοί έγιναν δυνατοί μόνο με τη χρήση τηλεσκοπίου. Το 1672 υπολογίστηκε από μια γαλλική αποστολή με αρχηγό τον Jean Picard η απόσταση του Άρη. Αυτό έγινε με ταυτόχρονη παρατήρηση του πλανήτη από δύο διαφορετικά σημεία της γης (Παρίσι και Γαλλική Γουιάνα) και με προσεκτικό υπολογισμό της γωνίας μεταξύ του Άρη και κάποιου κοντινού αστέρα στον ουρανό. Έγινε εφικτός ο υπολογισμός της διαφοράς στις μετρήσεις από τα δύο διαφορετικά σημεία παρατήρησης και η χάραξη του τριγώνου με κορυφή τον Άρη και με άκρα της πολύ μικρής βάσης του τα σημεία όπου

βρίσκονταν τα δύο τηλεσκόπια. Γνωρίζοντας το μήκος της βάσης και τις γωνίες μεταξύ των δύο πολύ μεγάλων πλευρών του τριγώνου, ήταν δυνατόν να υπολογιστεί η απόσταση του Άρη από τη γη.

Η ερμηνεία που έδωσε ο Κέπλερ στη σχέση του λόγου των ταχυτήτων με το λόγο των αποστάσεων είναι ότι η δύναμη που πίστευε ότι ασκούσε ο ήλιος κινώντας γύρω του τους πλανήτες ήταν αντιστρόφως ανάλογη προς την απόσταση του πλανήτη. Ήταν ένα συμπέρασμα που δεν τον ικανοποιούσε, γιατί περίμενε ότι η δύναμη θα ήταν αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της απόστασης από τον ήλιο. Ήταν πεπεισμένος ότι ο ήλιος εκπέμπει τη δύναμη αυτή, όπως εκπέμπει το φως, και επομένως η έντασή της έπρεπε να μειώνεται αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο της απόστασης από τον ήλιο. Ο νόμος των ταχυτήτων ήταν προφανώς λάθος, αλλά του επέτρεψε στην περίπτωση της γης να επιβεβαιώσει ότι ο νόμος των εμβαδών είναι σωστός. Μαζί με το γεγονός ότι η τροχιά της γης ήταν σχεδόν κυκλική, το παραπάνω συμπέρασμα τον οδήγησε σε έναν ακριβή υπολογισμό της θέσης της γης στο διάστημα, πράγμα που αποτέλεσε ένα σημαντικό βήμα στην προσέγγιση του αρχικού προβλήματος, που ήταν ο προσδιορισμός της τροχιάς του Άρη.

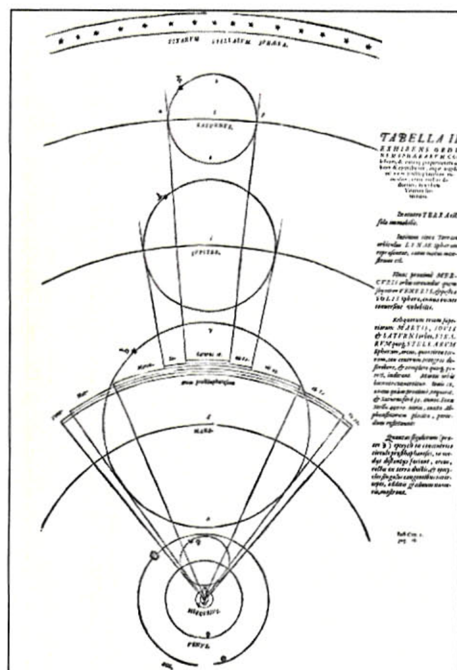
3 ΤΟ ΠΕΡΑΣΜΑ ΤΟΥ KEPLER ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΝΙΜΙΣΤΙΚΟ ΣΤΟ ΜΗΧΑΝΙΣΤΙΚΟ ΤΡΟΠΟ ΣΚΕΨΗΣ

Στην πρώτη έκδοση του *Mysterium Cosmographicum* ο Κέπλερ απέδιδε την κίνηση των πλανητών σε μια δύναμη που εκπέμπεται από τον ήλιο, την οποία ονόμασε «anima motrix», δηλαδή «κινητήρια ψυχή». Η ονομασία δεν ήταν τυχαία, απέπνεε όλες τις ανιμιστικές ιδέες που ο Κέπλερ διατηρούσε ακόμα για το σύμπαν. Ο ίδιος γράφει: «*Εάν αντικαταστήσουμε τη λέξη "ψυχή" (anima) με τη λέξη "δύναμη" (vis), θα έχουμε ακριβώς την ίδια αρχή στην οποία βασίζεται η ουράνια φυσική στην* Astronomia Nova. *Διότι στο παρελθόν πίστευα απολύτως ότι αιτία της κίνησης των πλανητών είναι κάποια ψυχή, έχοντας επηρεαστεί βαθύτατα από τις διδασκαλίες του J.C. Scaliger* (Σκάλιγκερ) *περί κινητήριας νοημοσύνης. Όταν όμως αντιλήφθηκα ότι αυτό το κινητήριο αίτιο εξασθενεί καθώς αυξάνει η απόσταση από τον ήλιο, ακριβώς όπως μειώνεται το φως του ήλιου, συμπέρανα ότι αυτή η δύναμη πρέπει να θεωρήσουμε ότι έχει υλική υπόσταση*». Έτσι περιγράφεται εκ των υστέρων μια από τις μεγάλες διανοητικές περιπέτειες στην ιστορία της επιστήμης. Αργότερα έγραψε: «*Σκοπός μου είναι να δείξω ότι η μηχανή του ουρανού δεν είναι κάτι θεϊκό, ζωντανό, αλλά ένα είδος ωρολογιακού μηχανισμού, όπου όλες σχεδόν οι πολλαπλές κινήσεις οφείλονται σε μια πολύ απλή, μαγνητική και υλική δύναμη, όπως ακριβώς όλες οι κινήσεις του ρολογιού οφείλονται σε ένα απλό βάρος*».

Το πέρασμα από την «κινητήρια ψυχή» στην «κινητήρια δύναμη» αποτελεί, μαζί με το ξεπέρασμα των ανιμιστικών κατάλοιπων, την οριστική ρωγμή στην κοσμική τάξη που είχε επιβάλει η αριστοτελική φυσική.

4 Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

Στο μεταξύ (1610) έφτασαν τα νέα για το τηλεσκόπιο του Γαλιλαίου και τις παρατηρήσεις των δορυφόρων του Δία. Εκθρονίστηκε ο Αυτοκράτορας και ο Κέπλερ αντιμετώπισε προβλήματα ως αυτοκρατορικός μαθηματικός - άλλωστε για μεγάλο χρονικό διάστημα δεν του είχαν καταβληθεί οι αμοιβές του (βλ. ένθετο). Εγκατέλειψε την Πράγα και τελικά ανέλαβε μια θέση ως μαθηματικός στο Linz της Αυστρίας. Εκεί ξεκίνησε τη συγγραφή του *De Harmonice Mundi* [Περί της Αρμονίας του Κόσμου], του τελευταίου από τα μεγάλα βιβλία του. Οι αρμονίες που πραγματεύεται στο βιβλίο αυτό θεωρεί ότι είναι οι ιδανικές γεωμετρικές αναλογίες με τις οποίες ο Θεός έπλασε τον κόσμο. Πού υπήρχε, όμως, η αρμονία στο πλανητικό σύστημα; Ποια ήταν; Πώς σε αυτή την αρμονία θα μπορούσε να εντάξει τις ελλείψεις; Δοκίμασε να συνδυάσει με κάθε τρόπο τα στοιχεία που είχε από τις πολυετείς έρευνές του. Εξέτασε πολλές φορές τις πλανητικές περιόδους, τις μέσες αποστάσεις, τη διαδοχή των μεγεθών των πλανητών, τη σχέση μεταξύ μεγίστων και ελαχίστων ταχυτήτων. Όταν άρχισε να μελετά τους λόγους των μεγίστων και ελαχίστων γωνιακών ταχυτήτων κάθε πλανήτη, ένιωσε ότι δικαιώνεται. Η έρευνά του κατέληξε στον τρίτο νόμο της κίνησης των πλανητών. Είχε επιτέλους, ύστερα από πολλά χρόνια προσπαθειών, αυτό το οποίο αναζητούσε, ένα νόμο που συνέδεε τη λειτουργία με τη δομή του ηλιακού συστήματος, την κίνηση του κάθε πλανήτη με την απόστασή του από τον ήλιο. Ήταν ένας νόμος απροσδόκητος: τα τετράγωνα των περιόδων των πλανητών ήταν ανάλογα προς τους κύβους των μέσων αποστάσεων. Στον πρόλογο του κεφαλαίου στο οποίο παρουσιάζει αυτή τη σχέση γράφει: «*Πάνε δεκαοχτώ μήνες που είδα το πρώτο φως της χαραυγής, τρεις μήνες που φώτισε η μέρα, και λίγες μέρες που φάνηκε ο λαμπρός ήλιος ενός υπέροχου οράματος, τώρα τίποτα δεν μπορεί να με συγκρατήσει. Αφέθηκα σε ένα θείο ενθουσιασμό. Ομολογώ απερίφραστα ότι καταφρονώ και αψηφώ τους θνητούς. Έκλεψα τα χρυσά αγγεία των Αιγυπτίων, για να φτιάξω με αυτά θυσιαστήριο για το Θεό μου, μακριά από τα σύνορα της Αιγύπτου. Αν με συγχωρήσετε θα χαρώ πολύ, αν θυμώσετε μαζί μου θα το ανεχτώ. Ιδού, ερρίφθη ο κύβος, γράφω ένα βιβλίο για τους συγχρόνους μου ή - δεν πειράζει - για τους μεταγενεστέρους. Ίσως το βιβλίο μου να περιμένει τους αναγνώστες του εκατό χρόνια. Μήπως και ο ίδιος ο Θεός δεν περίμενε έξι χιλιάδες χρόνια μέχρι να ατενίσει κάποιος το έργο Του με κατανόηση;*» Δεν υπήρχε καμιά αμφιβολία σε ποιο αναφερόταν ο Κέπλερ!



Κέπλερ, πίνακας από το βιβλίο του Mysterium Cosmographicum.

Ο Κέπλερ, όπως και ο Κοπέρνικος νωρίτερα, αναζήτησε με πάθος την κρυμμένη αρμονία της φύσης μέσα από τη γλώσσα της γεωμετρίας και των αριθμών, γιατί και οι δύο ήταν πεπεισμένοι πως το σύμπαν έχει δημιουργηθεί από το Θεό σύμφωνα με τις αρχές της γεωμετρίας. Ο Κέπλερ, όμως, θα κατανοήσει πολύ σύντομα ότι ο κόσμος είναι κάτι περισσότερο από ένα σύνολο γεωμετρικών κατασκευών. Πρέπει οι κατασκευές αυτές να βασίζονται σε αρχές της φυσικής, για να ερμηνεύονται οι κινήσεις των πλανητών με βάση τα αίτια που τις προκαλούν. Τολμά να αρνηθεί να επιβάλει στη φύση αρμονίες που βασίζονται μόνο σε μεταφυσικές δοξασίες και δεν επαληθεύονται από τις παρατηρήσεις. Δε γνωρίζει την αρμονία αυτή εκ των προτέρων· την αναζητά, είναι πρόθυμος να αλλάξει τα προσεγγιστικά σχήματά του, είναι πρόθυμος να θυσιάσει χρόνια εργασίας, αλλά για ένα είναι σίγουρος: η αρμονία υπάρχει και πρέπει να έχει φυσική ερμηνεία. Για το λόγο αυτό προσπάθησε να ερμηνεύσει τη δύναμη που συγκρατεί τους πλανήτες στην τροχιά τους. Έλεγε: «*Βάλτε μια μεγαλύτερη γη κοντά στη δική μας, και η δική μας θα αποκτήσει βάρος σε σχέση με τη μεγαλύτερη και θα πέσει επάνω της, όπως μια πέτρα πέφτει στο έδαφος*». Άλλωστε είναι αυτός που πρώτος υποστήριξε ότι η έλξη είναι αμοιβαία, η γη δεν έλκει μόνο τα σώματα, αλλά και έλκεται από αυτά. Όμως, γιατί δε συγκρούονται μεταξύ τους; Αυτό που εμποδίζει τα ουράνια σώματα να συγκρουστούν είναι η τροχιά τους. Η αρχή της αδράνειας, σύμφωνα με την οποία τα σώματα συνεχίζουν την ευθύγραμμη κίνηση ωσότου κάποια παρέμβαση τα σταματήσει ή τροποποιήσει την τροχιά τους, η οποία θα διατυπωθεί από τον Νεύτωνα προς το τέλος του 17ου αι., δεν αποτελούσε τμήμα του εννοιολογικού συστήματος του Κέπλερ. Κατά τη δική του αντίληψη χρειαζόταν κάποια δύναμη να σπρώχνει τους πλανήτες, για να συνεχίσουν να κινούνται στον ουρανό. Ο ήλιος παρείχε αυτή τη δύναμη που εξασθενούσε όσο μεγάλωνε η ακτίνα της δράσης της. Η δύναμη αυτή, «effluvium magneticum» (μαγνητική απορροή), ξεχυνόταν ακτινικά από τον ήλιο και περιστρεφόταν μαζί με εκείνον επενεργώντας εφαπτομενικά στους πλανήτες. Η ελλειπτική τροχιά των πλανητών οφειλό-

ταν στις μαγνητικές ιδιότητες του ήλιου και των πλανητών, που είχαν ως αποτέλεσμα σε άλλες θέσεις ο ήλιος να τους έλκει και σε άλλες τους απωθεί.

JOHANNES KEPLER



Κέπλερ (1571-1630)

Ο Johannes Kepler γεννήθηκε στις 27 Δεκεμβρίου 1571 στο Weil der Stadt στη Swabia, μια οινοπαραγωγική περιοχή στη νοτιοανατολική Γερμανία, όχι μακριά από τη Γαλλία. Είναι φανερό, από το πάθος του για τον ακριβή προσδιορισμό του χρόνου γέννησής του, ότι ο Κέπλερ ασχολήθηκε πολύ σοβαρά με την αστρολογία. Τον πατέρα του Heinrich, που ήταν επαγγελματίας στρατιώτης, τον περιγράφει ως «... άνθρωπο ανήθικο, άκαμπτο, καβγατζή και καταδικασμένο σε κακό τέλος ...». Τη μητέρα του την περιγράφει στο ωροσκόπιο της οικογένειας ως «μικροκαμωμένη, λεπτή, μελαμψή, κουτσομπόλα και καβγατζού, με κακή διάθεση». Η μητέρα του μάζευε βότανα και έφτιαχνε ροφήματα, για τα οποία πίστευε ότι είχαν μαγικές ιδιότητες. Τη μεγάλωσε μια θεία της, η οποία κάηκε στην πυρά σαν μάγισσα, ενώ εκείνη γλίτωσε την τελευταία στιγμή από μια παρόμοια μοίρα σε ηλικία εβδομήντα ετών.

Από μικρό παιδί ο Κέπλερ ήταν πολύ ασθενικός. Σε ηλικία επτά μηνών κόλλησε ανεμοβλογιά και η όρασή του ελαττώθηκε σημαντικά. Χρειάστηκε διπλάσιο χρόνο απ' ό,τι ένα φυσιολογικό παιδί της εποχής, για να ολοκληρώσει τις βασικές σπουδές του στα Λατινικά. Η απόδοσή του βελτιώθηκε κάπως όταν πήγε στο γυμνάσιο, στο Maulbronn.

Το 1588 συνέχισε τις σπουδές του στο Πανεπιστήμιο του Tübingen, ένα προτεσταντικό ίδρυμα, όπου σπούδασε θεολογία και φιλοσοφία, μαθηματικά και αστρονομία. Στο πανεπιστήμιο ο Κέπλερ φανέρωσε τις εξαιρετικές πνευματικές ικανότητες του. Εργάστηκε κοντά στον καθηγητή της αστρονομίας Maestlin, που παρά το ότι δημοσίως δίδασκε το πτολεμαϊκό σύστημα του κόσμου πίστευε στην ορθότητα του κοπερνίκειου. Σε μια δημόσια διαμάχη, ο ίδιος ο Κέπλερ υπερασπίστηκε το κοπερνίκειο σύστημα.

Ήταν η περίοδος που -σύμφωνα με τα δικά του λόγια- αποφάσισε να ακολουθήσει το κοπερνίκειο σύστημα «για φυσικούς ή εάν προτιμάτε για μεταφυσικούς λόγους». Όταν αποφοίτησε δέχτηκε μια θέση καθηγητή Αστρονομίας στο μακρινό Graz (σήμερα ανήκει στην Αυστρία), όπου πήγε στο 1594. Έζησε στο Graz έως το 1600, εποχή κατά την οποία, στο πλαίσιο της αντιμεταρρύθμισης, όλοι οι προτεστάντες εξαναγκάστηκαν να ασπαστούν τον καθολικισμό ή να εγκαταλείψουν την πόλη. Ο Κέπλερ έφυγε για την Πράγα.

Τα χρόνια που έμεινε στο Graz δίδαξε αριθμητική, ρητορική, γεωμετρία. Στον ελεύθερο χρόνο του συνέχιζε να μελετά με πάθος βιβλία αστρονομίας και αστρολογίας.

Την περίοδο αυτή ανέπτυξε την ιδέα με τα κανονικά πολύεδρα τα εγγεγραμμένα σε σφαίρες που περιέλαβε στο βιβλίο του *Mysterium Cosmographicum* το 1597. Το κύριο ενδιαφέρον του Κέπλερ από τη στιγμή που δημοσίευσε το *Mysterium Cosmographicum* και μετά ήταν να αποκτήσει πρόσβαση στις παρατηρήσεις του Tycho Brahe, που διαισθανόταν ότι θα επιβεβαίωναν την εικόνα που είχε για το ηλιακό σύστημα. Το βιβλίο του φαίνεται ότι εντυπωσίασε τον Tycho, που τον κάλεσε το 1600 ως βοηθό του στην Πράγα.

Ο Κέπλερ δούλεψε ως βοηθός του Tycho έως το θάνατο του τελευταίου το 1601. Κατέλαβε μετά τη θέση του ως αυτοκρατορικός Μαθηματικός, θέση εξαιρετικά σπουδαία στην επιστημονική κοινότητα της Ευρώπης. Κράτησε αυτή τη θέση έως το 1612 όταν ο αυτοκράτορας Ροδόλφος Β΄ εκθρονίστηκε.

Στην Πράγα ο Κέπλερ έγραψε μια σειρά σημαντικών βιβλίων. Το 1604 δημοσίευσε το *Astronomia pars Optica* [Το Οπτικό μέρος της Αστρονομίας], στο οποίο πραγματευόταν θέματα ατμοσφαιρικής διάθλασης αλλά και θέματα φακών και φυσιολογίας του οφθαλμού. Το 1606 δημοσίευσε το De Stella Nova [Περί του νέου αστέρος], που αναφέρεται στον καινοφανή αστέρα του 1604, και, τέλος, το 1609 το σπουδαιότερο ίσως από τα έργα του, την *Astronomia Nova*. Στο βιβλίο αυτό περιέχονται οι δύο πρώτοι νόμοι του. Επίσης, για πρώτη φορά το πρόβλημα της κίνησης των πλανητών παύει να είναι αποκλειστικά πρόβλημα κινηματικής και γίνεται πρόβλημα δυναμικής. Ταυτόχρονα εισάγει, με τις ιδέες του για τη δύναμη που ασκείται από τον ήλιο στους πλανήτες, τη φυσική στον ουράνιο χώρο.

Το 1610 ο Κέπλερ άκουσε και διάβασε για πρώτη φορά για τις ανακαλύψεις που έκανε ο Γαλιλαίος με το τηλεσκόπιο. Σε σύντομο χρονικό διάστημα συντάσσει μια επιστολή υποστήριξης, την οποία δημοσιεύει με τον τίτλο *Dessertario cum Nuncio Sidereo* [Συνομιλίες με τον αγγελιαφόρο των άστρων]. Και τον ίδιο χρόνο, μόλις απέκτησε και αυτός ένα αξιόλογο για την εποχή τηλεσκόπιο δημοσιεύει τις δικές του παρατηρήσεις των δορυφόρων του Δία με τον τίτλο *Narratio de Observatis Quatuor Jovis Satellibus* [Αφήγηση για τους τέσσερις δορυφόρους του Δία που παρατηρήθηκαν]. Και τα δύο δημοσιεύματα του Κέπλερ επανεκδόθηκαν στη Φλωρεντία. Το 1611 δημοσιεύει το βιβλίο του *Dioptrice* [Διοπτρική], την πρώτη θεωρητική μελέτη του τηλεσκοπίου.

Το 1613 δημοσίευσε μια εργασία σχετική με τον πραγματικό χρόνο γέννησης του Ιησού, όπου προσδιορίζει ως χρονολογία το 4 π.Χ. Μεταξύ του 1617 και του 1621 δημοσίευσε μια σειρά από βιβλία με πρώτο το *Epitome Astronomiae Copernicanae* [Επιτομή της Κοπερνίκειας Αστρονομίας], που απετέλεσε την πιο σημαντική εισαγωγή στην ηλιοκεντρική αστρονομία. Το 1619 δημοσίευσε το *Harmonice Mundi*, όπου όρισε τις ηλιοκεντρικές αποστάσεις των πλανητών και τις περιόδους, με τρόπο ώστε να υπάρχουν αναλογίες με τις μουσικές αρμονίες. Σ' αυτό το έργο διατυπώνει τον τρίτο νόμο του, συνδυάζοντας τις περιόδους των πλανητών με τη μέση ακτίνα της τροχιάς τους.

Το 1615 η μητέρα του κατηγορήθηκε ως μάγισσα και φυλακίστηκε. Χρειάστηκαν πέντε

χρόνια, για να αναιρεθούν οι κατηγορίες και να αφεθεί ελεύθερη το 1620. Ο Κέπλερ ήταν αυτός που συντόνισε την υπεράσπισή της στη δίκη.

Μετά την Πράγα ο Κέπλερ εγκαθίσταται στο Linz. Το έτος 1618 άρχισε ο τριακονταετής πόλεμος και η κατάσταση του Κέπλερ στο Linz χειροτερεύει, καθώς οι προτεστάντες υφίστανται διώξεις και πιέσεις από την αντιμεταρρύθμιση. Λόγω της φήμης του εξαιρείται από τις άμεσες διώξεις. Στη διάρκεια αυτών των ετών ετοιμάζει τους *Tabulae Rudolphinae*, τους πρώτους αστρονομικούς πίνακες, που βασίζονται στις παρατηρήσεις του Tycho Brahe και την αστρονομία του ίδιου. Η πρώτη αυτή έκδοση καταστρέφεται στις ταραχές που ξεσπούν στο Linz. Το 1626 εγκαταλείπει το Linz μαζί με την οικογένειά του. Οι *Tabulae Rudolphinae* δημοσιεύτηκαν τελικά το 1627 στο Ulm.

Ο Κέπλερ βρίσκεται χωρίς θέση και εισοδήματα. Προσπάθησε να βρει κάποια θέση σε βασιλικές αυλές και διεκδίκησε τους μισθούς που δεν του είχαν καταβληθεί το τελευταίο διάστημα που διετέλεσε αυτοκρατορικός Μαθηματικός. Πέθανε το 1630 προσπαθώντας να εξασφαλίσει τα απαραίτητα για την καθημερινή ζωή χρήματα.

Ερωτήσεις

1) Από τα πρώτα έργα του ο Κέπλερ δείχνει ότι πιστεύει ακλόνητα στη γεωμετρική αρχιτεκτονική του σύμπαντος και στην ύπαρξη αρμονιών, που κρύβονται στις κινήσεις των πλανητών. Ταυτόχρονα, όμως, πιστεύει ότι η κρυμμένη αυτή αρμονία μπορεί να αποκαλυφθεί και να κατανοηθεί μόνο με τη συστηματική μελέτη και την ανάλυση παρατηρήσεων των φυσικών φαινομένων. Κατά τη γνώμη σας τα δύο αυτά χαρακτηριστικά πώς επηρέασαν το επιστημονικό έργο του;

2) Ποια είναι η ιδιαίτερη σημασία του πρώτου νόμου του Κέπλερ για την ιστορία της αστρονομίας; Γιατί θεωρούμε ότι με το νόμο αυτό ολοκληρώνεται η ρήξη με την αρχαιοελληνική αντίληψη για τις κινήσεις των πλανητών;

3) Πώς αντιλαμβάνεστε τη σημασία που έχει η μετάβαση του Κέπλερ από τον ανιμιστικό στον μηχανιστικό τρόπο σκέψης; Κρίνετε εύκολη ή δύσκολη μια τέτοια μετατόπιση στη σκέψη ενός επιστήμονα;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Η ΝΕΥΤΩΝΕΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ : Η ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΕΝΟΣ ΝΕΟΥ ΣΥΜΠΑΝΤΟΣ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ: ΟΙ ΜΗΧΑΝΟΚΡΑΤΙΚΕΣ ΙΔΕΕΣ ΤΟΥ DESCARTES

Στα μέσα περίπου του 17ου αι. εμφανίστηκε μια νέα αντίληψη για τον κόσμο, η μηχανοκρατία, που έλαβε το όνομά της από την απαίτηση που πρόβαλε: να υπάρχει μηχανική εξήγηση για κάθε φυσικό φαινόμενο. Οι καθαρά επιστημονικές συνεισφορές του νέου αυτού συστήματος του κόσμου στη σύγχρονη μηχανική και αστρονομία υπήρξαν λίγες, αλλά η φιλοσοφική επίδραση του ήταν ουσιαστική σε όλη τη διάρκεια του 17ου αι., γιατί υπήρξε η πρώτη συστηματική έκφραση της αναγωγής της φυσικής επιστήμης στα μαθηματικά. Η μηχανοκρατία δεν ήταν δημιούργημα ενός μόνο στοχαστή, ούτε μια θεωρία που γεννήθηκε ξαφνικά. Διαμορφώθηκε στο διάστημα 1600-1650. Ο κύριος εκπρόσωπος της μηχανοκρατικής αντίληψης για τη φύση ήταν ο Réné Descartes (1596-1650), Γάλλος μαθηματικός και φιλόσοφος, ο οποίος και διατύπωσε τις βασικές θέσεις της με φιλοσοφική αυστηρότητα. Δύο θεμελιακές αριστοτελικές αρχές αποτελούσαν τη βάση του κοσμολογικού συστήματός του. Η πεποίθηση ότι η ύπαρξη του κενού είναι αδύνατη - επομένως κάθε κομμάτι του χώρου, όσο μικρό κι αν είναι, κατέχεται από άπειρα διαιρετή ύλη (plenum) - και η βεβαιότητα ότι ένα σώμα μπορεί να επηρεάζει ένα άλλο, μόνο όταν τα δύο σώματα βρίσκονται σε επαφή. Επομένως, στη φύση, κάθε επίδραση από απόσταση είναι αδύνατη.


Descartes (1596-1650)

Ο Descartes παρουσίασε αναλυτικά τις λεπτομέρειες της μηχανοκρατικής άποψής του στις πραγματείες του *Διοπτρική* (1637), *Μετεωρολογία* (1637) και στις *Αρχές της Φιλοσοφίας* (1644). Προσπάθησε να ανοικοδομήσει το σύμπαν μέσα από μια συνολική θεωρία για τον κόσμο με μόνα υλικά την ύλη και την κίνηση. Όμως, οι δύο θεμελιακές αρχές που έθεσε ως βάση της αντίληψής του για το σύμπαν τον υπο-

χρέωσαν να εφεύρει ένα μηχανισμό, για να ερμηνεύσει τόσο τη βαρύτητα όσο και τις τροχιές των πλανητών, χωρίς να προϋποθέτει την επίδραση από απόσταση. Ο μηχανισμός αυτός ήταν οι **δίνες** (στρόβιλοι).

Κατά τον Descartes κάθε πολλοστημόριο του χώρου κατέχεται ολότελα και διαρκώς από ύλη που είναι άπειρα διαιρετή. Τα σωματίδια της ύλης συνωστίζονται μάλιστα σε τέτοιο βαθμό στο σύμπαν, που είναι αδύνατο σε κάποιο να κινηθεί χωρίς να μεταδώσει την κίνηση και στα διπλανά του. Η ύλη αυτή σχημάτιζε δίνες στους ουρανούς, που ήταν η αιτία για την κίνηση των πλανητών. Κάθε πλανήτης περιστρεφόταν γύρω από τον άξονά του, γιατί είχε εμπλακεί στη δική του δίνη και περιφερόταν γύρω από τον ήλιο, γιατί ήταν δέσμιος μιας μεγαλύτερης δίνης, που είχε ως κέντρο της τον ήλιο. Η τάση που είχε διαμορφωθεί στην επιστημονική κοινότητα, να εξορίσει από την ερμηνεία του φυσικού κόσμου κάθε δύναμη που έμοιαζε υπερφυσική ή θεϊκή, οδήγησε πολλούς από τους μεγάλους επιστήμονες της εποχής όχι μόνο να αποδεχτούν τη θεωρία των δινών, αλλά και να εργαστούν συστηματικά προς την κατεύθυνση αυτή.

Το έργο και η επίδραση του Descartes είναι εξαιρετικά χρήσιμα στη μελέτη της εξέλιξης των επιστημονικών ιδεών. Μέσα από το έργο του προβλήθηκε η ανάγκη μιας προσέγγισης της φύσης, που θα έπρεπε να βασίζεται αποκλειστικά σε μηχανικές δυνάμεις και σε μια μεθοδολογία που θα απέκλειε την προσφυγή σε «υπερφυσικές» δυνάμεις ή υπερφυσικά αίτια. Ο Descartes, σε αντιδιαστολή με τους προηγούμενους φυσικούς φιλοσόφους, ιδιαίτερα με τον Κέπλερ, θεωρούσε ότι ο Θεός δε συμβολίζεται από τα πράγματα που δημιούργησε. Δεν υπάρχει αναλογία ανάμεσα στον Θεό και τον κόσμο, δεν υπάρχουν εικόνες και ίχνη του Θεού στον κόσμο, με μοναδική εξαίρεση την ψυχή μας.

Ο Descartes δημιούργησε τον πρώτο αυστηρά ομοιόμορφο μαθηματικό-γεωμετρικό κόσμο της νεότερης επιστήμης. Έναν κόσμο που περιείχε μόνο ύλη και κίνηση, ή, αφού σε τελευταία ανάλυση η ύλη ήταν ταυτόσημη με την έκταση, περιείχε μόνο έκταση και κίνηση. Αυτή άλλωστε η ταύτιση της ύλης με την έκταση έκανε δυνατή τη χρήση γεωμετρικών συλλογισμών, που θα οδηγούσαν στην κατανόηση της φύσης με αποδείξεις εξίσου αυστηρές με εκείνες της γεωμετρίας. Ίσως η μεγάλη συμβολή της καρτεσιανής φιλοσοφίας στη σύγχρονη επιστήμη συνίσταται στην παρουσίαση της δυνατότητας ύπαρξης ενός τέτοιου κόσμου, από τον οποίο έχει αυστηρά αποκλειστεί κάθε ψυχική ιδιότητα από τη φύση. Η θεωρία του plenum - δηλαδή της αντίληψης ότι ο χώρος είναι γεμάτος από ύλη - έφερε στην επιστημονική σκέψη πολλά νέα και ουσιαστικά στοιχεία. Επιπλέον, ο Descartes οδηγήθηκε στη διατύπωση του νόμου της αδράνειας με τη σύγχρονη σχεδόν μορφή του: ότι, δηλαδή, η ευθύγραμμη ομαλή κίνηση συνεχίζεται απεριόριστα, αν δεν τη διακόψει κάποια εξωτερική παρέμβαση.

2 ΤΑ «ΑΙΤΙΑ» ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΑΝΗΤΩΝ

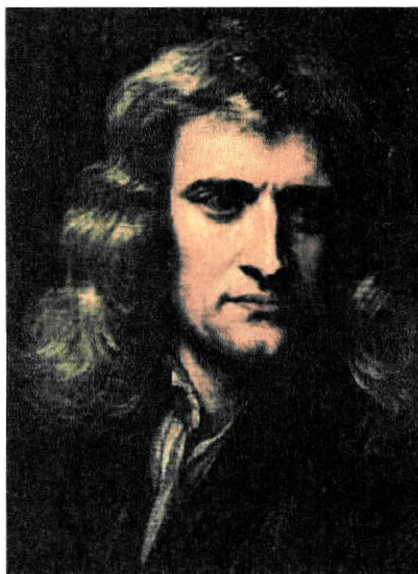
2.1 Τα διάσπαρτα κομμάτια της εικόνας

Πριν από τη διαμόρφωση της μηχανοκρατίας, πολλοί στοχαστές είχαν κάνει υποθέσεις προσπαθώντας να ερμηνεύσουν τα «αίτια» των κινήσεων των πλανητών και των δορυφόρων τους. Στο *De Revolutionibus* ο Κοπέρνικος είχε αναγγείλει κάποιες γενικές μεταφυσικές-αξιωματικές αρχές, οι οποίες, όμως, ερμήνευαν τις πλανητικές κινήσεις ως ιδιότητες που οφείλονταν στη γεωμετρική δομή των πλανητών (σφαίρες) και στον άγνωστο αλλά πρωταρχικό και κυρίαρχο ρόλο του ήλιου. Ο Γαλιλαίος, παρά την ανακάλυψη των ιδιοτήτων της ευθύγραμμης ομαλής κίνησης, δεν παρουσίασε καμιά υπόθεση που θα μπορούσε να ερμηνεύσει τη φυσικά επιταχυνόμενη κίνηση (ελεύθερη πτώση). Πολύ περισσότερο δεν αναφέρθηκε ποτέ σε ερμηνευτικές υποθέσεις για την κίνηση των πλανητών. Ένας από τους πρώτους που μίλησαν συστηματικά για την ανάγκη μελέτης των δυνάμεων ήταν ο Κέπλερ. Είχε, μάλιστα, προτείνει την υπόθεση ότι οι κινήσεις των πλανητών θα έπρεπε να αποδοθούν σε δυνάμεις που προέρχονται από τον ήλιο και να μη θεωρούνται ως αποτελέσματα της ύπαρξης κάποιων γεωμετρικών σημείων με ειδικές ιδιότητες (όπως τα κέντρα των παλιών επικύκλων). Μη γνωρίζοντας, όμως, τη σημασία της αδράνειας και τις ιδιότητες της κυκλικής κίνησης θεωρούσε ως απαραίτητο όρο οι δυνάμεις να δρουν εφαπτομενικά στην τροχιά του κάθε πλανήτη. Η πεποίθηση αυτή τον οδήγησε στη διατύπωση ενός περίπλοκου και λανθασμένου μηχανισμού, σύμφωνα με τον οποίο, οι δυνάμεις, ενώ εκρέουν ακτινικά από τον ήλιο, περιστρέφονται μαζί του και, φτάνοντας στον πλανήτη, έχουν αποκτήσει την εφαπτομενική προς την τροχιά του διεύθυνση, υποχρεώνοντάς τον σε κυκλική κίνηση. Οι κυκλικές αυτές τροχιές επηρεάζονται από δυνάμεις μαγνητικής φύσης και μετατρέπονται τελικά σε ελλειπτικές.

Έτσι, έως τα μέσα του 17ου αι. η επιστημονική σκέψη είχε επανειλημμένα αντιμετωπίσει τα προβλήματα της κίνησης χωρίς, όμως, να καταφέρει να συναρμολογήσει τη συνολική λύση του γρίφου, παρά το ότι τα σκόρπια κομμάτια της εικόνας είχαν αρχίσει να συγκλίνουν. Εκτός από τον Huygens, ο Descartes, ο Gassendi (Pierre Gassendi, 1592-1655) και ο Hooke (Robert Hooke, 1635-1703) είχαν ήδη ουσιαστικές συνεισφορές. Τα επιμέρους αποτελέσματα των ερευνών τους ήταν γνωστά, κανείς όμως δεν είχε καταφέρει να πραγματοποιήσει την υπέρβαση που ήταν απαραίτητη, να συνδέσει δηλαδή κινήσεις και δυνάμεις σε μια ενιαία και συνεκτική θεωρία, ικανή να ερμηνεύσει τις τροχιακές κινήσεις. Η υπέρβαση αυτή, όπως θα έχουμε την ευκαιρία να δούμε πιο κάτω, δεν ήταν εύκολη. Απαιτούσε τη δημιουργία μιας νέας μεθόδου, μιας νέας ποσοτικής γλώσσας, με την οποία θα γινόταν ο χειρισμός των φυσικών εννοιών.

2.2 Η επίλυση του προβλήματος της τροχιακής κίνησης

Στη δεκαετία 1660-1670 οι προσπάθειες που στόχευαν στην επίλυση του προβλήματος της τροχιακής κίνησης έφτασαν στο απόγειό τους. Το πρόβλημα που απασχολούσε όλους τους μελετητές ήταν: ποια είναι η δύναμη που πρέπει να εφαρμόζεται σε έναν πλανήτη, ώστε αυτός να ακολουθεί ελλειπτική τροχιά. Ο Άγγλος φυσικός Robert Hooke φαίνεται ότι ήταν ο πρώτος που με βεβαιότητα εξέφρασε την αντίληψη ότι η τροχιακή κίνηση δημιουργείται από μια κεντρική δύναμη. Μάλιστα το 1679 υπέδειξε ένα νόμο αντίστροφων τετραγώνων χωρίς όμως ποτέ να μπορέσει να τον αποδείξει πραγματικά. Και ο Edmund Halley (Έντμουντ Χάλεϋ, 1656-1742) κατέληξε τον Ιανουάριο του 1684 στο ίδιο συμπέρασμα, ότι δηλαδή πρέπει να υπάρχει μια δύναμη που δρα στους πλανήτες αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο της απόστασης, αλλά δεν κατάφερε να συναγάγει από την υπόθεση αυτή την παρατηρούμενη τροχιά των πλανητών. Τον Αύγουστο του 1684 ο Halley επισκέφθηκε το Νεύτωνα στο Cambridge. Αξίζει να παραθέσουμε τις λεπτομέρειες αυτής της συνάντησης, όπως τις περιγράφει ο σχεδόν σύγχρονός τους Abraham de Moivre (Ντε Μοάβρ, 1667-1754):



Ισαάκ Νεύτων (1643-1727)

Αφού έμειναν για λίγο χρόνο μαζί, ο Dr. Halley τον ρώτησε ποια νόμιζε ότι θα είναι η μορφή της καμπύλης που θα διέγραφε ένας πλανήτης, αν υποθέσουμε ότι οι δυνάμεις που τον έλκουν προς τον ήλιο είναι αντιστρόφως ανάλογες προς το τετράγωνο της απόστασης από αυτόν. Ο Sir Isaac απάντησε αμέσως ότι θα ήταν μια έλλειψη. Ο Halley ξαφνιασμένος από χαρά και θαυμασμό τον ρώτησε πώς το γνώριζε. «Το γνωρίζω, γιατί το έχω υπολογίσει» απάντησε εκείνος. Αμέσως ο Halley του ζήτησε να δει τους υπολογισμούς. Ο Sir Isaac έψαξε στα χαρτιά του, δεν μπόρεσε να τους βρει και του υποσχέθηκε να τους ξανακάνει και να τους του στείλει. Προκειμένου να φανεί συνεπής με την υπόσχεση αυτή προσπάθησε να ξανακάνει τους υπολογισμούς, αλλά δεν κατάφερνε να αποδείξει αυτό που θυμόταν ότι είχε ήδη αποδείξει με ιδιαίτερη προσοχή. Δοκίμασε, λοιπόν, μια άλλη αποδεικτική μέθοδο, η οποία ήταν σαφώς πιο μακροσκελής από την αρχική και, βέβαια, κατέληξε στο συμπέρασμα που ήδη γνώριζε.

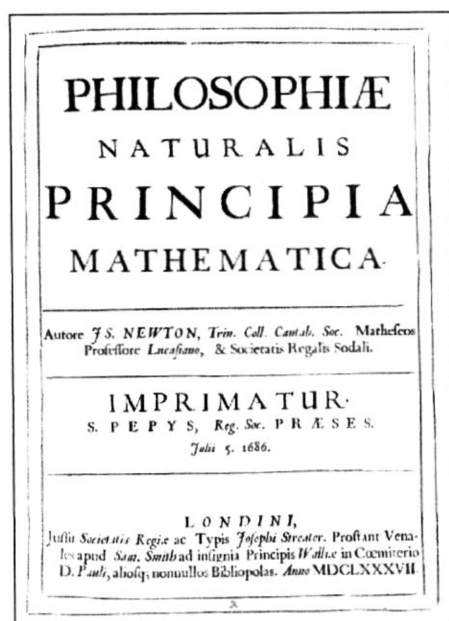
Η επίσκεψη του Halley στάθηκε η αφορμή για να ξαναρχίσει ο Νεύτων τη συστη-

ματική μελέτη κάποιων προβλημάτων που τον είχαν απασχολήσει πριν από είκοσι περίπου χρόνια, πριν, δηλαδή, από την περίοδο των τόσο σημαντικών μελετών του στην οπτική και στα μαθηματικά. Εργάστηκε εντατικά και κατάφερε σύντομα να αποδείξει ότι οι παρατηρούμενες τροχιές των πλανητών μπορεί να οφείλονται σε μία κεντρική δύναμη που ελαττώνεται αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο της απόστασης. Παρουσίασε τα αποτελέσματα των ερευνών του σε μια σειρά διαλέξεις στο Πανεπιστήμιο του Cambridge και σε μια πρώτη χειρόγραφη έκδοση με τίτλο *De motu corporum* [Περί της κινήσεως των σωμάτων]. Τρία χρόνια αργότερα, το 1687, θα έβλεπε το φως το μνημειώδες έργο του *Philosophiae naturalis principia mathematica* [Οι μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας], με το οποίο ολοκληρώθηκε η ένταξη των γήινων και ουράνιων κινήσεων και δυνάμεων σε μια ενιαία και συνεπή γενική θεωρία. Το έργο αυτό αποτελεί το τελικό στάδιο της Επιστημονικής Επανάστασης του 17ου αιώνα.

3 Ο ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΝΟΙΑΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

Η ένταξη των κινήσεων και των δυνάμεων στο πλαίσιο μιας ενιαίας και συνεπούς θεωρίας βασίστηκε στο ριζικό μετασχηματισμό της έννοιας της κίνησης και της δύναμης, που πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του 17ου αιώνα. Η κίνηση, κυρίως χάρη στο Γαλιλαίο, δεν κατανοείται πια ως ένα είδος *γίγνεσθαι*, ως διαδικασία αλλαγής που επιδρά στα σώματα στα οποία επιβάλλεται, αλλά ως ένα είδος *κατάστασης* εξίσου μόνιμης και ανθεκτικής όσο και η στάση. Ο φυσικός φιλόσοφος παύει να προσπαθεί να κατανοήσει την «κίνηση ή τη στάση που *υπάρχει* στα σώματα« και μελετά πια «τα σώματα που είναι σε κίνηση ή σε στάση».

Ριζικός ήταν, επίσης, ο μετασχηματισμός της έννοιας της δύναμης, που οφείλεται κυρίως στο Νεύτωνα. Σύμφωνα με τη μηχανοκρατική άποψη ως δύναμη μπορούσε να νοηθεί μόνο «η πίεση ή η ώθηση ενός σώματος σ' ένα άλλο». Ο Νεύτων είναι ο πρώτος


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA

Autore *J S. NEWTON*, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Mathefeos Profeffore *Lucafiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,
Juffu *Societatis Regiæ* ac Typis *Jofephi Streater*. Proftant Venales apud *Sam. Smith* ad infignia Principis *Walliæ* in Cœmiterio D. *Pauli*, aliofq; nonnullos Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

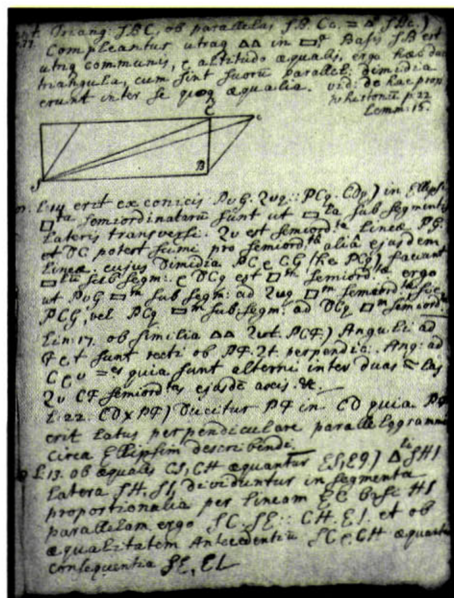
Το εσώφυλλο από την πρώτη έκδοση των Principia *(1686).*

που θεώρησε τη δύναμη ως μια αφηρημένη ποσότητα που μπορούσε να μετρηθεί με τη μεταβολή της κίνησης ενός κινούμενου σώματος, μπορούσε επομένως να ενταχθεί στα προβλήματα της κίνησης χωρίς να είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την πραγματική υπόστασή της.

Ο μετασχηματισμός αυτός υπήρξε ο τελικός καρπός μιας πολύπλοκης συλλογικής πνευματικής διαδικασίας, στην οποία εκτός από το Νεύτωνα συνέβαλαν και πολλοί άλλοι επιστήμονες στη διάρκεια των 150 ετών της Επιστημονικής Επανάστασης. Είχαμε την ευκαιρία στα κεφάλαια που προηγήθηκαν να παρουσιάσουμε το έργο ορισμένων από αυτούς. Όπως εύστοχα παρατηρεί ο Koyré, παραφράζοντας μια φράση του Νεύτωνα, «*αν όντως ο Νεύτων είδε τόσο μακριά, τόσο μακρύτερα από οποιονδήποτε άλλον πριν από αυτόν, ήταν γιατί ήταν ένας γίγας ανεβασμένος πάνω στους ώμους άλλων γιγάντων*».

4 ΤΟ ΕΡΓΟ ΤΟΥ ΝΕΥΤΩΝΑ

Ο Sir Isaac Newton (Νεύτων, 1643-1729) υπήρξε η κορυφαία επιστημονική φυσιογνωμία της Επιστημονικής Επανάστασης. Για την ιστορία της επιστήμης αποτελεί μια ιδιαίτερη περίπτωση όχι μόνο για τη σημασία του έργου του, αλλά και γιατί είναι ένας από τους στοχαστές που η ιστορική έρευνα μπορεί να ανασυγκροτήσει μια λεπτομερή εικόνα της διαδρομής τους. Κι αυτό γιατί δεν κατέστρεφε τίποτα από τις σημειώσεις του, όσο ασήμαντες κι αν ήταν, ενώ χάρη στην ανιψιά του έχει διασωθεί το σύνολο σχεδόν των πάσης φύσεως χειρογράφων του.



Μαθηματικό χειρόγραφο του Νεύτωνα.

Οι κυριότερες θεωρητικές συνεισφορές του αφορούν τα μαθηματικά, την οπτική και τη δυναμική. Όμως υπήρξε και μεγάλος πειραματικός και κατασκευαστής εξαιρετικά ευφυών συσκευών, οργάνων και σημαντικών πειραματικών διατάξεων.

4.1 Το έργο του στα Μαθηματικά

Στα μαθηματικά η κύρια συνεισφορά του ήταν η διατύπωση - παράλληλα με τον Gottfried Wilhelm Leibniz (Λάιμπνιτς,

1646-1716) - του Απειροστικού Λογισμού. Η «μέθοδος των ροών», όπως ο ίδιος την ονόμαζε, βασίστηκε στην ιδέα ότι η ολοκλήρωση μιας συνάρτησης (δηλαδή η εύρεση του εμβαδού που ορίζεται από την καμπύλη που την αναπαριστά) είναι ακριβώς η αντίστροφη διαδικασία της διαφόρισης (δηλαδή της εύρεσης της κλίσης της καμπύλης σε κάθε σημείο της). Παίρνοντας τη διαφόριση ως βασική πράξη, ο Νεύτων ανέπτυξε απλές αναλυτικές μεθόδους που ενοποιούσαν μια πληθώρα επιμέρους μαθηματικών τεχνικών, που είχαν αναπτυχθεί για την επίλυση προβλημάτων, όπως η εύρεση εμβαδών, εφαπτομένων, μηκών καμπύλων, μεγίστων και ελαχίστων, κτλ. Παρά το ότι ο Νεύτων δεν μπόρεσε να θεμελιώσει αυστηρά τη μέθοδό του, κατάφερε να αναπτύξει ένα ισχυρό αναλυτικό εργαλείο για την ανάλυση και την επίλυση μιας σειράς προβλημάτων στα μαθηματικά και τη φυσική. Πολύ ουσιαστικές συνεισφορές στα μαθηματικά αποτέλεσαν, επίσης, οι εργασίες του στην άλγεβρα και στις σειρές.



Γκότφριντ Βίλχεμ Λάιμπνιτς (1646-1716).

4.2 Το έργο του στην Οπτική

Στην οπτική οι εργασίες του Νεύτωνα υπήρξαν σημαντικές και ουσιαστικές. Βασιζόμενος και σε μια σειρά πειραμάτων, ανέπτυξε την επαναστατική για την εποχή αντίληψη ότι το λευκό φως δεν είναι μια απλή ομογενής οντότητα, όπως πίστευαν οι φυσικοί φιλόσοφοι από τον καιρό του Αριστοτέλη αλλά σύνθεση πολλών χρωμάτων. Αξίζει να δούμε πιο λεπτομερειακά τις ανακαλύψεις του Νεύτωνα για το φως, γιατί μέσα από αυτές αρχίζει να αναδύεται μια νέα μέθοδος μελέτης της φύσης.

Το 1672 έστειλε στη Βασιλική Εταιρεία μια έκθεση για την «*πιο παράξενη, αν όχι την πιο αξιόλογη ανακάλυψη που έχει γίνει ως τώρα για τη λειτουργία της φύσης*». Γράφει: «*Προμηθεύτηκα ένα τριγωνικό γυάλινο πρίσμα, για να εξετάσω με αυτό τα περίφημα φαινόμενα των χρωμάτων. Έχοντας συσκοτίσει το δωμάτιό μου για το σκοπό αυτό, και έχοντας ανοίξει μια μικρή τρύπα στα παραθυρόφυλλα, για να μπαίνει μια ορισμένη ποσότητα από το φως του ήλιου, τοποθετώ το πρίσμα μου στην είσοδο της φωτεινής δέσμης, ώστε το φως να μπορεί να διαθλάται προς τον απέναντι τοίχο. Στην αρχή ήταν πολύ διασκεδαστικό να βλέπω τα ζωηρά και έντονα χρώματα που παράγονται έτσι. Αλλά έπειτα από πολλή ώρα, όταν άρχισα να τα εξετάζω προσεκτικότερα, ένιωσα έκπληξη βλέποντας ότι είχαν επίμηκες σχήμα, ενώ,*



Ακριβές αντίγραφο του κατοπτρικού τηλεσκοπίου που κατασκεύασε ο Νεύτων.

σύμφωνα με τους γνωστούς νόμους της διάθλασης, περίμενα ότι το σχήμα θα ήταν κυκλικό».

Ο Νεύτων δεν ήταν ο πρώτος που είδε το ηλιακό φάσμα σε προβολή. Είναι, όμως, ο πρώτος που διέκρινε στο σχήμα του την αδυναμία των προηγούμενων θεωριών για το φως. Αφού απέκλεισε από το πείραμά του κάθε τυχαίο παράγοντα, όπως ατέλειες στο πρίσμα ή λοξοδρόμηση των ακτίνων, εκτέλεσε το «κρίσιμο» πείραμα. Διάθλασε μια ακτίνα από κάθε χρώμα μέσα από ένα δεύτερο πρίσμα και διαπίστωσε ότι η διαθλαστικότητα είναι μέγεθος σταθερό για το κάθε χρώμα, μεγαλύτερο προς το ιώδες και μικρότερο προς το κόκκινο. Αυτό του αρκούσε για να κάνει το μεγάλο βήμα και να ανατρέψει μια αντίληψη που θεωρούνταν θέσφατο για χιλιετίες. Το λευκό φως είναι σύνθετο, «*ένα μπερδεμένο σύνολο από ακτίνες εφοδιασμένες με όλα τα είδη χρωμάτων, καθώς εκπέμπονται φύρδην-μίγδην από τα διάφορα τμήματα των φωτεινών σωμάτων*». Και τελειώνει τους συλλογισμούς του για τη φύση του φωτός με μια δήλωση που προδιαγράφει μια νέα μέθοδο μελέτης της φύσης: «*Αλλά το να προσδιορίσουμε πιο απόλυτα τι είναι το φως, με ποιο τρόπο διαθλάται και με ποιες διαδικασίες ή λειτουργίες παράγει στο μυαλό μας την αίσθηση των χρωμάτων δεν είναι και τόσο εύκολο. Και δεν θα ανακατέψω εικασίες με βεβαιότητες*».

Η ανακάλυψή του Νεύτωνα για το φως ήταν αντίθετη με ανθρώπινες βεβαιότητες αιώνων, αντιλήψεις τόσο βαθιά ριζωμένες που είχαν καταστεί αξιωματικές. Αυτό που έδινε τόσο ειδικό νόημα στο φως ήταν ακριβώς ότι ήταν απλό και πρωτογενές. Φαίνεται ότι έως τότε κανένα στοιχείο από την προσωπική πείρα του Νεύτωνα δεν τον είχε προειδοποιήσει για την ακαμψία των διανοητικών συνηθειών. Δεν ήταν προετοιμασμένος να συναντήσει αντιδράσεις, ίσως μάλιστα περίμενε την ανταμοιβή της αναγνώρισης. Οι αντιδράσεις που ξέσπασαν με κύριο εκφραστή τον Robert Hooke γνωρίζουμε ότι ήταν γι' αυτόν μια εξαιρετικά δυσάρεστη και τραυματική εμπειρία. Όπως παρατηρεί ο C.C. Gillispie (Γκιλίσπι), «*δεν είχε ακόμη συναίσθηση για τη δυσάρεστη πλευρά της λογιοσύνης - παρ' όλο που η δική του μικροψυχία προς τους αντιπάλους του επρόκειτο να γίνει το περιφανέστερο παράδειγμά της - που είναι ότι η φήμη του ενός αυξάνει σε βάρος του γοήτρου του άλλου*».

Αντιμετώπισε στην αρχή υπομονετικά την έλλειψη κατανόησης. Προσπάθησε να απαντήσει αναλυτικά σε όλους τους επικριτές. Το 1675 παρουσιάζει μια δεύτερη

πραγματεία για το φως και τα χρώματα με τον τίτλο *Υπόθεσις ερμηνεύουσα τις ιδιότητες του φωτός*. Οι αλλαγές στο ύφος είναι δραματικές, σε ορισμένα σημεία αλλάζει τις αρχές που ο ίδιος είχε καθορίσει. Προσπαθεί να υποστηρίξει τη θεωρία του υιοθετώντας μεθοδολογίες που φανταζόταν ότι θα γίνουν πιο εύκολα αποδεκτές από τους επικριτές του. Τον παρανοούν και πάλι, με διαφορετικό τρόπο αυτή τη φορά. Αν ανατρέξουμε στα πρακτικά της Βασιλικής Εταιρείας στις 16 Δεκεμβρίου του 1675, μπορούμε να διαβάσουμε ότι η συνεδρίαση έληξε ως εξής: «*Αφού διάβασε αυτή τη διατριβή ο κ. Hooke είπε ότι οι κυριότερες θέσεις της περιέχονταν στη Micrographia του, την οποία ο κ. Newton απλώς ανέπτυξε παραπέρα σε μερικά επιμέρους σημεία*». Ο Νεύτων απάντησε για μια τελευταία φορά στις επικρίσεις και το 1676 σταμάτησε να υπερασπίζεται τη θεωρία του για τα χρώματα και αποτραβήχτηκε στη μοναξιά του Cambridge. Αργότερα έγραψε στο Leibniz: «*Ήμουν τόσο ταλαιπωρημένος με τις συζητήσεις που προκάλεσε η δημοσίευση της θεωρίας μου για το φως που τα έβαλα με την απερισκεψία μου να παρατήσω ένα τόσο βασικό αγαθό, όπως τη γαλήνη μου, για να κυνηγήσω ένα φάντασμα*»· και στον Henry Oldenburg (Όλντενμπουργκ, 1617/20-1677), γραμματέα της Βασιλικής Εταιρείας: «*Βλέπω ότι ένας άνθρωπος πρέπει να αποφασίσει ή να μην πει τίποτα καινούριο ή να υποδουλωθεί για να το υπερασπιστεί*». Όμως, παρά την υπέρμετρη ευαισθησία του σε κάθε είδους κριτική, δεν ήταν ο άνθρωπος που άλλαζε ιδέες και εγκατέλειπε το στόχο του. Συνέχισε αποτραβηγμένος στο Cambridge τις έρευνές του στα μαθηματικά, την αλχημεία, τη φυσική και έγραψε στο διάστημα αυτό πολλά θεολογικά κείμενα.

Παρά το ότι τα *Principia* τού εξασφάλισαν γρήγορα την αποδοχή και το θαυμασμό, παρέμεινε πιστός στην αρχική απόφασή του: δημοσίευσε το σύνολο των ερευνών του σε θέματα οπτικής πολύ αργότερα, το 1704, και αφού είχε προηγηθεί ο θάνατος του Hooke.

4.3 Το έργο του στη Δυναμική: «Οι μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας»

Οι μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας ή *Principia*, όπως είναι γνωστό το βιβλίο αυτό που εξασφάλισε στο Νεύτωνα μια από τις κορυφαίες θέσεις στην ιστορία της επιστήμης, είναι ένα δύσκολο βιβλίο. Είναι πράγματι εντυπωσιακό ότι ένα βιβλίο που είχε τόσο μεγάλη επίδραση διαβάστηκε τελικά από τόσο λίγους. Το βιβλίο είναι διατυπωμένο σε αρχαϊκό φορμαλισμό, στη συνθετική γεωμετρία των Αρχαίων Ελλήνων, στην οποία προτιμούσε να παρουσιάζει τα θεωρήματά του ο Νεύτων. Δυνάμεις, ταχύτητες, επιταχύνσεις, χρόνοι, πυκνότητες και αποστάσεις παρουσιάζονται με εξαιρετικά πολύπλοκες γεωμετρικές κατασκευές, που χρησιμοποιούν γραμ-

μές και επιφάνειες. Όπως ο ίδιος γράφει στον πρόλογό του, φιλοδοξία του ήταν να ενώσει τους κλάδους της γεωμετρίας και της μηχανικής «*και για τούτο παρουσιάζουμε αυτό το έργο ως μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας. Γιατί όλη η δυσκολία της φιλοσοφίας φαίνεται ότι συνίσταται στο εξής: από τα φαινόμενα των κινήσεων να διερευνήσει τις δυνάμεις της φύσης και κατόπιν από αυτές τις δυνάμεις να αποδείξει τα άλλα φαινόμενα*».

Ποιο είναι το περιεχόμενο και η δομή του περίφημου αυτού βιβλίου; Περιλαμβάνει μια εισαγωγή και τρία μεγάλα βιβλία ή μέρη. Προκειμένου να δώσει έμφαση στον ποσοτικό-γεωμετρικό χαρακτήρα και την αυστηρά λογική συνέπεια του κειμένου, ο Νεύτων χρησιμοποίησε τον τρόπο γραφής που είχε καθιερώσει ο Ευκλείδης στα *Στοιχεία*: στην εισαγωγή δίνει τους ορισμούς των εννοιών και τα αξιώματα που θα χρησιμοποιήσει, και συνεχίζει με προτάσεις, θεωρήματα, προβλήματα, λήμματα, πορίσματα και σχόλια. Οι έννοιες της μάζας, της ορμής, της αδράνειας και της δύναμης, που ορίζονται στην αρχή, δεν ήταν άγνωστες στους φυσικούς του 17ου αι., αλλά δίνονται με μαθηματικό τρόπο από το Νεύτωνα, ώστε να μπορεί να τις χρησιμοποιήσει ποσοτικά σε όσα θα πραγματευθεί. Τέλος, καταλήγει δίνοντας τους ορισμούς του απόλυτου και του σχετικού χρόνου και του απόλυτου και σχετικού χώρου και ακολουθεί μια ανάλυση της φύσης του χώρου και του χρόνου.

Αμέσως μετά ο Νεύτων παρουσιάζει τρία «αξιώματα ή νόμους της κίνησης».

Ο πρώτος νόμος, «**κάθε σώμα διατηρεί την κατάσταση της ακινησίας ή της ομαλής ευθύγραμμης κίνησης μέχρις ότου υποχρεωθεί να αλλάξει την κατάσταση αυτή από δυνάμεις που εφαρμόζονται επάνω του**», διατυπώνει την αρχή της αδράνειας με τη μορφή που χρησιμοποιείται και σήμερα. («κάθε σώμα» σημαίνει σ' αυτή την περίπτωση οποιοδήποτε σώμα στη γη ή στον ουρανό.)

Ο δεύτερος νόμος, «**η μεταβολή της κίνησης είναι ανάλογη προς την κινητήρια δύναμη που εφαρμόζεται, και γίνεται κατά τη διεύθυνση της ευθείας κατά την οποία εφαρμόζεται η δύναμη**», με τον τρόπο που διατυπώθηκε στα *Principia* αποτελεί τη μεγάλη συμβολή του Νεύτωνα στο χώρο της φυσικής, αφού εισάγει δύο νέα και ουσιαστικά στοιχεία: την έννοια-ορισμό της δύναμης, ως μέτρου μεταβολής της κίνησης, και τον ορισμό της μάζας, ως κάτι διαφορετικό από το βάρος.

Τέλος, ο τρίτος νόμος, «**σε κάθε δράση υπάρχει μια ίση και αντίθετη αντίδραση**», γνωστός και ως *αρχή της δράσης και της αντίδρασης*, είναι επίσης ιδέα του Νεύτωνα, αλλά μπορεί να θεωρηθεί ως επέκταση στον κλάδο της μηχανικής των εργασιών του Christiaan Huygens (Κρίστιαν Χούιχενς, 1629-1695) για τις μεταβολές της κίνησης κατά την κρούση.

Η εισαγωγή ολοκληρώνεται με τη συστηματική παρουσίαση διάφορων γενικών προβλημάτων της κίνησης, συμπεριλαμβανομένου και του νόμου της διατήρησης της ορμής.

Το πρώτο βιβλίο είναι μια πραγματεία για τη μηχανική, και ασχολείται συστηματικά με την εφαρμογή των τριών νόμων-αξιωμάτων της κίνησης σε σημειακές μάζες και ιδιαίτερα σε σημειακές μάζες που κινούνται σε τροχιά γύρω από κέντρα έλξης. Στην ουσία, στο πρώτο βιβλίο ο Νεύτων προετοιμάζει το έδαφος, για να περιληφθεί η τροχιακή κίνηση σε ένα ενιαίο σύστημα μηχανικής, που θα περιλαμβάνει τόσο τα γήινα, όσο και τα ουράνια φαινόμενα. Για το σκοπό αυτό εισάγει τον όρο «κεντρομόλος δύναμη», για να τονίσει την αντίθεση προς τη «φυγόκεντρη δύναμη» του Huygens. Στη συνέχεια αποδεικνύει με τη μορφή θεωρημάτων ότι οι τρεις νόμοι του Κέπλερ για την κίνηση των πλανητών μπορούν να εξαχθούν από τη Δυναμική με τη χρήση των τριών αξιωμάτων της κίνησης. Η απόδειξή του, όμως, γενικεύει αυτούς τους νόμους, γιατί αποδεικνύει ότι ο νόμος των εμβαδών ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις στις οποίες ένα κινούμενο σώμα παρεκκλίνει από την αρχική πορεία του λόγω κάποιας ελκτικής δύναμης. Όταν το μέγεθος μιας τέτοιας δύναμης μεταβάλλεται αντίστροφα προς το τετράγωνο της απόστασης (όπως στο πλανητικό μας σύστημα), τα σώματα θα κινηθούν σε τροχιά που θα έχει το σχήμα μιας κωνικής τομής. Η τροχιά θα είναι έλλειψη, μόνο όταν η εφαπτομενική ταχύτητα είναι μικρότερη από μια «κρίσιμη τιμή». Στην περίπτωση αυτή τα σώματα που κινούνται σε τροχιά γύρω από ένα μόνο κέντρο έλξης πρέπει να υπακούουν στον τρίτο νόμο του Κέπλερ. Ο Νεύτων όχι μόνο αποδεικνύει γιατί η τροχιά των πλανητών πρέπει να είναι έλλειψη, αλλά λύνει και τα άλυτα από την Αρχαιότητα προβλήματα, που σχετίζονται με την τροχιά των κομητών.

Η απόδειξη ότι ο πρώτος νόμος του Κέπλερ, η ελλειπτική τροχιά των πλανητών, συνάγεται από την ύπαρξη ελκτικής δύναμης που μεταβάλλεται αντίστροφα προς το τετράγωνο της απόστασης αποτελεί μια από τις θεμελιώδεις προτάσεις στις οποίες στηρίχθηκε ο νόμος της παγκόσμιας έλξης.

Μέχρι το σημείο αυτό, ο Νεύτων είχε αποδείξει ότι μια ελκτική δύναμη που μεταβάλλεται αντίστροφα προς το τετράγωνο της απόστασης δημιουργεί μια κίνηση, όπως είναι η κίνηση των πλανητών και, αντιστρόφως, ότι μια κίνηση όπως η κίνηση των πλανητών προϋποθέτει απαραιτήτως την ύπαρξη μιας τέτοιας δύναμης. Κι αυτή ήταν η πρώτη μεγάλη συμβολή του με τα *Principia*. Η δεύτερη μεγάλη συμβολή του ήταν ότι απέδειξε ότι οι δυνάμεις αυτές ήταν της ίδιας φύσης με τη γήινη βαρύτητα. Αυτό γίνεται εν μέρει στο πρώτο βιβλίο, όπου προετοιμάζει το έδαφος με μια σειρά αξιώματα και προτάσεις, αλλά ολοκληρώνεται στο τρίτο βιβλίο των *Principia* με τον τίτλο «Το σύστημα του Κόσμου».

Το δεύτερο βιβλίο των *Principia* ασχολείται συστηματικά με κινήσεις ρευστών και με σώματα που κινούνται με την παρουσία αντίστασης μέσα σε αυτά τα ρευστά. Σκοπός του είναι όχι μόνο να αποδείξει ότι η πλανητική κίνηση μπορεί να περι-

γραφεί με τους τρεις νόμους της κίνησης, αλλά να αποδείξει με μαθηματικό τρόπο ότι η καρτεσιανή ερμηνεία των στροβίλων αδυνατεί να κάνει το ίδιο. Έτσι, ενώ στο πρώτο βιβλίο βασίζεται εν πολλοίς σε προηγούμενα επιτεύγματα του Γαλιλαίου, του Descartes και του Huygens, στο δεύτερο βιβλίο επιχειρεί να αναπτύξει μια μαθηματική θεωρία για τη δυναμική των ρευστών. Τέλος, βρίσκει την ευκαιρία να διαπιστώσει ότι η ευστάθεια της τροχιάς των πλανητών πείθει ότι αυτοί κινούνται στο κενό.

Αφού είχε προετοιμάσει το έδαφος για τις αρχές και τους νόμους-αξιώματα της δυναμικής στο πρώτο βιβλίο, και είχε καταρρίψει το καρτεσιανό σύστημα στο δεύτερο, στο τρίτο βιβλίο, που φέρει τον τίτλο «Το σύστημα του Κόσμου», ο Νεύτων φτάνει στον τελικό σκοπό του, που ήταν η εφαρμογή των αρχών της δυναμικής του στο πλανητικό σύστημα. Σκοπός του ήταν να αποδείξει ότι οι δυνάμεις που καθορίζουν την κίνηση των πλανητών είναι της ίδιας φύσης με τη γήινη βαρύτητα και ότι οι δυνάμεις αυτές δρουν σε ολόκληρο το σύμπαν. Ας δούμε πώς οργάνωσε τη λύση αυτού του προβλήματος στο πρώτο και στο τρίτο βιβλίο των *Principia*.

Ο Νεύτων είχε τη δυνατότητα να εξετάσει τρία τέτοια συστήματα. Τα δύο από αυτά ήταν το ηλιακό σύστημα και ο Δίας με τους δορυφόρους του, που έχουν πολλά περιφερόμενα σώματα που υπακούουν στον τρίτο νόμο του Κέπλερ. Το τρίτο σύστημα αυτού του είδους το σύστημα Γης-Σελήνης έχει ευτυχώς (και θα δούμε γιατί) ένα μόνο περιφερόμενο σώμα.

Αυτό που ήθελε να αποδείξει ήταν όχι μόνο ότι οι δυνάμεις που διατηρούν τους δορυφόρους στις τροχιές τους είναι της ίδιας φύσης, αλλά ότι δε διαφέρουν από κάποια πολύ γνωστή δύναμη στη γη, τη δύναμη που κάνει, π.χ., το μήλο να πέφτει στο έδαφος. Στο σημείο, όμως, αυτό προκύπτει ένα ακόμη πρόβλημα. Τον ήλιο και τους πλανήτες μπορούσε λόγω της σχέσης των μαζών τους προς τις αποστάσεις να τους θεωρήσει σημειακές μάζες και να εφαρμόσει τις αρχές της δυναμικής που είχε παρουσιάσει στο πρώτο βιβλίο· ακόμα και στην περίπτωση του συστήματος γης-σελήνης, μια τέτοια υπόθεση θα ήταν αποδεκτή. Αλλά πώς θα μπορούσε να χειριστεί το πρόβλημα της πτώσης ενός μήλου; Ενώ το μήλο απέχει τρία-τέσσερα μέτρα από την επιφάνεια της γης, η σχέση που βρήκε ο Νεύτων αντιστοιχούσε σε μια απόσταση μήλου-γης ίση με την ακτίνα της γης. Η λύση του προβλήματος βρίσκεται στο πρώτο βιβλίο. Εκεί ο Νεύτων εξετάζει την ολική ελκτική δύναμη ενός σώματος που αποτελείται από πολλά έλκοντα σωμάτια. Αποδεικνύει ότι μια ομοιογενής σφαίρα ή γενικότερα μια σφαίρα που αποτελείται από ομοιογενείς φλοιούς έλκει οποιοδήποτε σώμα έξω από αυτήν με δύναμη ανάλογη προς τη συνολική μάζα της και αντιστρόφως ανάλογη προς την απόσταση του σώματος από το κέντρο της. Επομένως, έλκει ως σημείο με μάζα ίση προς τη μάζα της σφαίρας. Με αυτή τη σχέση και με την ακρι-

βή σχέση μεταξύ της κεντρομόλου επιτάχυνσης της σελήνης και της επιτάχυνσης της βαρύτητας ο Νεύτων διατύπωσε τον νόμο της παγκόσμιας έλξης ως εξής: «**υπάρχει μια δύναμη βαρύτητας, την οποία διαθέτουν όλα τα σώματα, ανάλογη προς τις διάφορες ποσότητες ύλης που περιέχουν**». Επομένως, το σύμπαν συνολικά μπορεί να νοηθεί ως ένα σύνολο σημειακών μαζών που ανά δύο έλκονται μεταξύ τους με δυνάμεις ανάλογες προς το γινόμενο των μαζών και αντιστρόφως ανάλογες προς το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης.

Στη συνέχεια εξέτασε μια μεγάλη ποικιλία περιπτώσεων δυνατών τροχιών, δείχνοντας πώς μπορούν να εξαχθούν τα πραγματικά στοιχεία μιας τροχιάς, όταν κάποιος διαθέτει παρατηρησιακά στοιχεία γι' αυτήν. Κατόπιν εφάρμοσε τη μελέτη του στην τροχιά της σελήνης. Αφού απέδειξε ότι και η περιφορά της σελήνης γύρω από τη γη οφείλεται σε μια δύναμη που ελαττώνεται με το τετράγωνο της απόστασης, ο Νεύτων υπολόγισε την επιτάχυνση που θα αποκτούσε το «σεληνιακό μήλο», αν ήταν κοντά στην επιφάνεια της γης, και τελικά έδειξε ότι θα ήταν ακριβώς η ίδια με την επιτάχυνση που τα γήινα σώματα αποκτούν στην ελεύθερη πτώση. Και κατέληξε στην πρώτη του μεγάλη γενίκευση: «*Η οικονομία της φύσης απαιτεί από εμάς να αποδώσουμε στη βαρύτητα τη δύναμη που δρα στους πλανήτες*».

Αυτό σήμαινε ότι αφού η φύση διέθετε ήδη μια δύναμη που δρούσε με αυτό τον τρόπο δεν είχε λόγο να διαθέτει και μια δεύτερη εντελώς όμοια. Αμέσως μετά έκανε το δεύτερο μεγάλο νοητικό βήμα του με μια δεύτερη και μεγάλη γενίκευση. Αφού στο σύστημα γης-σελήνης αυτό που δρούσε ήταν η βαρύτητα, τότε: «*η βαρύτητα δρα σε όλα τα σώματα του σύμπαντος*».

Έχοντας συναγάγει τον νόμο της παγκόσμιας έλξης, ο Νεύτων τον χρησιμοποιεί στο υπόλοιπο του τρίτου βιβλίου, για να εξετάσει μια σειρά από άλλα φαινόμενα. Ερμηνεύει τη διαφορά της περιόδου του εκκρεμούς στα διάφορα σημεία της γης, τις παλίρροιες, τις ανωμαλίες της κίνησης της σελήνης, και την τροχιά των κομητών. Η ερμηνεία της τροχιάς των κομητών ήταν ένα από τα πιο σημαντικά και εντυπωσιακά αποτελέσματά του γιατί έως τότε δεν είχε γίνει δυνατό να υπαχθεί η τροχιά τους σε κάποιο φυσικό νόμο.

Τα *Principia* δεν έγιναν δεκτά χωρίς αντιδράσεις, το αντίθετο μάλιστα. Οι διάσημοι σύγχρονοι του Νεύτωνα, ο Huygens και ο Leibniz πολέμησαν σκληρά το έργο. Δύο ήταν τα σημεία στα οποία εστιάστηκαν οι βασικές αντιρρήσεις που εκφράστηκαν. Το πρώτο αφορούσε τη βαρύτητα. Η βαρύτητα προϋπέθετε την άσκηση δύναμης εξ αποστάσεως, ότι η αλληλοεπίδραση των σωμάτων εισάγει ένα ακόμα μυστήριο, μια αποκρυφιστική δύναμη, που δεν είναι παρά μια ακόμη εκδοχή των αριστοτελικών φυσικών τάσεων των σωμάτων. Το δεύτερο σημείο ήταν η ύπαρξη του κενού.

Στη δεύτερη έκδοση των *Principia* (1713) ο Νεύτων πρόσθεσε ένα «Γενικό Σχό-

λιο», που αναφέρεται σε μεθοδολογικά ζητήματα. Στην προτελευταία παράγραφο αναφέρει: «*Αλλά ως τώρα δεν κατόρθωσα να ανακαλύψω από τα φαινόμενα την αιτία αυτών των ιδιοτήτων της βαρύτητας και δεν επινοώ υποθέσεις (hypotheses non fingo). Γιατί οτιδήποτε δε συνάγεται από φαινόμενα πρέπει να ονομάζεται υπόθεση και οι υποθέσεις είτε μεταφυσικές είτε φυσικές είτε αναφέρονται σε αποκρυφιστικές ιδιότητες είτε σε μηχανικές, δεν έχουν θέση στην πειραματική φιλοσοφία*».

5 Η ΝΕΥΤΩΝΕΙΑ ΣΥΝΘΕΣΗ

Η μεγάλη συμβολή του Νεύτωνα στη νεότερη επιστήμη δεν έγκειται μόνο στο γεγονός ότι κατόρθωσε να διατυπώσει με τόσο συνεπή και αποτελεσματικό τρόπο, στο πλαίσιο μιας ενιαίας θεωρίας, τη σχέση κινήσεων και δυνάμεων, αλλά και στο γεγονός ότι κατάφερε μέσα από το έργο του να συνθέσει τη μηχανοκρατική με τη μημηχανοκρατική αντίληψη της λειτουργίας της φύσης, ανοίγοντας νέους δρόμους στη φυσική φιλοσοφία. Όταν, λοιπόν, μιλάμε για τη «νευτώνεια σύνθεση» ή για το «ενοποιητικό έργο του Νεύτωνα», αναφερόμαστε μεταξύ άλλων και στη σύνθεση δύο διαφορετικών παραδόσεων του 17ου αι., την παράδοση της μαθηματικής περιγραφής, που εκπροσωπούσε ο Γαλιλαίος, και την παράδοση της μηχανοκρατίας, που εκπροσωπούσε ο Descartes. Από αυτές κράτησε ορισμένα στοιχεία, αλλά τελικά διαμόρφωσε μια νέα εικόνα της λειτουργίας του υλικού κόσμου.

Η νέα αυτή εικόνα του κόσμου, όπως ο ίδιος ο Νεύτων την περιέγραψε μέσα από το έργο του, αποτελείται από τέσσερα στοιχεία, που κατά τον Alexandre Koyré είναι τα εξής:

1. Η **ύλη**, δηλαδή ένας άπειρος αριθμός σωματιδίων διακριτών και μεμονωμένων, συμπαγών, αναλλοίωτων αλλά όχι όμοιων.
2. Η **κίνηση**, που δε θίγει την ύπαρξη ή τη φύση των σωματιδίων της ύλης, αλλά μόνο τα μεταφέρει εδώ και εκεί στο άπειρο και ομογενές κενό.
3. Ο **χώρος**, δηλαδή αυτό το άπειρο και ομογενές κενό, μέσα στο οποίο κινούνται χωρίς αντίσταση τα σωματίδια αυτά.
4. Η **έλξη**, δηλαδή μια δύναμη που ενώνει και συγκρατεί αυτό τον κόσμο της ύλης στο άπειρο και ομογενές κενό, χωρίς όμως να αποτελεί συστατικό της σύνθεσής του, αφού είτε είναι μια υπερφυσική δύναμη - η δράση του Θεού - είτε κάτι άλλο άγνωστο αλλά σίγουρα όχι «φυσικό».

Η νευτώνεια εικόνα του κόσμου δεν έγινε εύκολα αποδεκτή. Μετά την επικράτησή της, όμως, η επίδρασή της στις επιστήμες και τη φιλοσοφία υπήρξε και πελώρια και μακροχρόνια. Θα έχουμε την ευκαιρία να εξετάσουμε ορισμένες πλευρές της στα

επόμενα κεφάλαια.

Το κύριο χαρακτηριστικό της νευτώνειας σύνθεσης είναι ότι επανέφερε, και μάλιστα με νέες ευρύτερες δυνατότητες, τη μαθηματική περιγραφή των φαινομένων με ποσοτικούς όρους, υπερβαίνοντας τα αδιέξοδα στα οποία την είχε οδηγήσει η αυστηρά μηχανοκρατική θεώρηση της φύσης. Αυτό έγινε με τη μαθηματική διατύπωση φυσικών εννοιών, των οποίων η βασική υπόσταση δεν ήταν απαραίτητα κατανοητή. Πολύ χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η έννοια της δύναμης. Κατά το Νεύτωνα η μαθηματική έννοια της δύναμης μπορούσε και έπρεπε να γίνει δεκτή στις επιστημονικές αποδείξεις, ακόμα κι αν δεν ήταν κατανοητή η βασική υπόστασή της, αφού ως έννοια ήταν αναγκαία, προκειμένου στη συνέχεια να μπορούν τα φαινόμενα να περιγραφούν με μηχανικούς όρους. Η ορθότητά της, λοιπόν, απέρρεε από τη χρησιμότητά της στις αποδείξεις, και όχι από τις υποθέσεις που θα αφορούσαν την προέλευσή της. Το ίδιο ισχύει και για την έννοια της παγκόσμιας έλξης, που η εισαγωγή της του επέτρεπε να περιγράφει με μαθηματικό τρόπο τα φαινόμενα χωρίς απαραιτήτως να μπορεί να εξηγήσει την αιτία της.

Ο Νεύτων πίστευε ότι αυτός ακριβώς έπρεπε να είναι ο στόχος της φυσικής. Σε αντίθεση με τη μηχανοκρατική φιλοσοφία του 17ου αι., που διακήρυσσε τη δυνατότητα της ανθρώπινης διάνοιας να γνωρίσει τη φύση, ο Νεύτων πίστευε ότι η φύση είναι αδιαπέραστη και αμφέβαλε αν η επιστήμη μπορεί να γνωρίσει το «είναι» των πραγμάτων. Η φύση γι' αυτόν ήταν κάτι δεδομένο και ως τέτοιο θα έπρεπε να τη μελετάμε. Ορισμένες πλευρές της θεωρούσε ότι ίσως δε θα γίνουν ποτέ κατανοητές.

Sir ISAAC NEWTON

Ο Sir Isaac Newton (1643-1727) γεννήθηκε στις 4 Ιανουαρίου 1643 (Χριστούγεννα του 1642 με το παλιό ημερολόγιο, που τότε ήταν σε χρήση στην Αγγλία) στο Woolsthorpe, κοντά στο Grantham, στο Lincolnshire. Ο πατέρας του - Isaac Newton - πέθανε μόλις τρεις μήνες μετά το γάμο με τη μητέρα του - Hannah Ayscough. Μετά από δύο χρόνια η χήρα μητέρα του ξαναπαντρεύτηκε και ακολούθησε το νέο σύζυγό της σε κοντινό χωριό αφήνοντας το μικρό Isaac στη γιαγιά του. Ο χωρισμός αυτός από τη μητέρα του φαίνεται ότι επέδρασε δραματικά στο χαρακτήρα του. Τελικά, η μητέρα του ξαναγύρισε κοντά του σε μερικά χρόνια, αφού έμεινε για δεύτερη φορά χήρα. Οι εγκύκλιες σπουδές του έγιναν στο Grantham. Μετά από κάποιες αποτυχημένες απόπειρες να ασχοληθεί με αγροτικές εργασίες η μητέρα του αποφάσισε να τον στείλει για πανεπιστημιακές σπουδές. Στις 8 Ιουλίου του 1661, ο Isaac Newton διάβαινε την πόρτα του Trinity College του Πανεπιστημίου του Cambridge.

Παρά το ότι ξεκίνησε τις σπουδές του λιγότερο προετοιμασμένος από τους συμφοιτητές του πολύ γρήγορα διακρίθηκε για τις επιδόσεις του στα μαθηματικά. Είναι γνωστή η αντίδρασή του, όταν άρχισε να μελετά τα *Στοιχεία* του Ευκλείδη, τα οποία γρήγορα

εγκατέλειψε γιατί βρήκε το βιβλίο «ασήμαντο». Αποφοίτησε τον Ιανουάριο του 1665. Κατόπιν αναχώρησε από το Cambridge για να αποφύγει μια επιδημία πανούκλας που είχε πλήξει την περιοχή και παρέμεινε για δύο περίπου χρόνια στη γενέτειρά του. Το 1669 σε ηλικία 26 ετών, διαδέχθηκε το φίλο και δάσκαλό του Isaac Barrow (1630-1677) ως καθηγητής των μαθηματικών στο Cambridge. Τρία χρόνια αργότερα εκλέχθηκε μέλος στη νεοσυσταθείσα Βασιλική Ακαδημία του Λονδίνου.

Ως φοιτητής ο Νεύτων πολύ γρήγορα αδιαφόρησε για το επίσημο πρόγραμμα σπουδών που τότε εφαρμοζόταν στο πανεπιστήμιο και μελέτησε μόνος του όλες τις σύγχρονες για την εποχή του εξελίξεις στις περιοχές των μαθηματικών και της φυσικής φιλοσοφίας. Η ιστορική έρευνα έχει διαπιστώσει ότι από τα φοιτητικά του χρόνια μελέτησε συστηματικά τις ιδέες και τις θεωρίες των μηχανοκρατικών (Descartes, Gassendi, Hobbes, Boyle κ.ά.). Από σημειώσεις του που έχουν διασωθεί και από κείμενα που ο ίδιος έγραψε αργότερα φαίνεται ότι ανέπτυξε τις βασικές ιδέες για όλες τις μετέπειτα ανακαλύψεις του σε μια τριετία ιδιαίτερα έντονης πνευματικής δραστηριότητας από το 1666 έως το1668.

Οι πρώτες ανακαλύψεις του ήταν στα μαθηματικά. Γενίκευσε τις μεθόδους που χρησιμοποιούνταν για τη χάραξη εφαπτόμενων σε καμπύλες και τον υπολογισμό των επιφανειών που περικλείονται από καμπύλες και απέδειξε ότι οι δύο αυτές διαδικασίες είναι αντίστροφες πράξεις. Ενοποιώντας τες σε μια μέθοδο που ονόμασε «μέθοδο των ροών», ο Νεύτων ανέπτυξε το φθινόπωρο του 1666 ένα νέο είδος μαθηματικών, που τώρα είναι γνωστό ως Απειροστικός Λογισμός. Την ίδια μέθοδο ανέπτυξε, επίσης, το 1675 ο Leibniz, εργαζόμενος ανεξάρτητα από το Νεύτωνα. Ο Νεύτων δημοσιοποίησε την νέα αυτή μέθοδο το 1704.

Το 1687 ο Νεύτων συνέβαλε ουσιαστικά στην αντίσταση που πρόβαλε το Cambridge στο Βασιλιά Ιάκωβο Β΄, που σχεδίαζε να μετατρέψει το Πανεπιστήμιο σε καθολικό ίδρυμα, και το 1689 ήταν ένας από τους εκπροσώπους του πανεπιστημίου στην ειδική σύνοδο της βουλής. Εκλέχθηκε πάλι ως εκπρόσωπος το 1701. Τα τέσσερα επόμενα χρόνια αποτέλεσαν χρόνια έντονης πνευματικής δράσης, αφού εκτός από το θρίαμβο των *Principia* προσπάθησε να δώσει και σε όλες τις προηγούμενες ανακαλύψεις του την τελική διατύπωσή τους.

Οι σχέσεις του με το νέο καθεστώς οδήγησαν στο διορισμό του ως διευθυντή του Βασιλικού Νομισματοκοπείου στο Λονδίνο, όπου και έζησε μετά το 1696. Η βαθιά γνώση της αλχημείας τον βοήθησε να εντοπίζει κίβδηλα νομίσματα. Το 1703 η Βασιλική Ακαδημία τον εξέλεξε πρόεδρό της, μια θέση που διατήρησε για όλη την υπόλοιπη ζωή του.

Τα χρόνια αυτά ο Νεύτων ξεκίνησε και την έντονη διαμάχη του με τον Leibniz σχετικά με το ποιος πρώτος εφεύρε το Λογισμό. Χρησιμοποίησε τη θέση του ως προέδρου της Ακαδημίας, για να δημιουργήσει μια επιτροπή που θα διερευνούσε το θέμα, της οποίας το πόρισμα, που κατηγορούσε τον Leibniz για κλοπή των ιδεών του Νεύτωνα, γνωρίζουμε σήμερα ότι το έγραψε κρυφά ο ίδιος. Στις 2 Μαρτίου του 1727 ο Νεύτων κατά τη διάρκεια συνεδρίασης της Βασιλικής Ακαδημίας, ασθένησε και μεταφέρθηκε εσπευσμένα στο σπίτι του. Την επομένη πέθανε σε ηλικία 85 ετών. Εξαιρετικά πουριτανός, δεν έδειξε ποτέ ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την τέχνη ή τη για τη λογοτεχνία, και δεν είναι γνωστό να είχε στη ζωή του ρομαντικές σχέσεις οποιουδήποτε είδους με γυναίκες. Ενταφιάστηκε στο

αβαείο του Westminster.

Για δύο αιώνες ο Isaac Newton θεωρήθηκε από τους βιογράφους του ως ο πρωτοπόρος της εποχής του Λόγου, ο τυπικός και ολοκληρωμένος εκπρόσωπος της Επιστημονικής Επανάστασης, ο πρόδρομος της Βιομηχανικής Επανάστασης. Το 1936 δημοπρατήθηκε στον Οίκο Sotheby's ένας μεγάλος όγκος άγνωστων χειρογράφων του, σημειωματάριων, σημειώσεων και ημερολογίων «μη επιστημονικού ενδιαφέροντος». Σχεδόν στο σύνολο τους τα έγγραφα αυτά αφορούσαν στις μελέτες του Νεύτωνα στην αλχημεία, στα απόκρυφα κείμενα και στις χρονολογήσεις των γεγονότων που αναφέρονται στη Βίβλο. Ο πλειοδότης που τα απέκτησε ήταν ο γνωστός Άγγλος οικονομολόγος John Maynard Keynes (Κέυνς). Ο Keynes προχώρησε σε μια πρώτη μελέτη των χειρογράφων αυτών και το 1942 με την ευκαιρία των 300 ετών από τη γέννηση του Νεύτωνα έδωσε μια διάλεξη στο Royal Society Club που έμεινε ιστορική για την προκλητικότητά της, και υπήρξε η αφορμή για να ανοίξουν νέοι δρόμοι για τη μελέτη του έργου του Νεύτωνα. Στην ομιλία αυτή ο Keynes με βάση τη μελέτη των χειρογράφων ανάγγειλε ότι «ο Νεύτων υπήρξε όχι ο πρώτος εκπρόσωπος της εποχής του Λόγου, αλλά ο τελευταίος των μάγων».

Μυστικιστής και αιρετικός θεολόγος, είχε προσχωρήσει μυστικά στην αίρεση του Αρειανισμού, που αμφισβητεί τη θεϊκή φύση του Χριστού. Κράτησε μυστική έως τη στιγμή του θανάτου του την αμφιβολία του για τη θεϊκή φύση του Χριστού.

Τα «απόκρυφα χειρόγραφα» μελετήθηκαν από τότε συστηματικά και απέδειξαν ότι κατά το πιο κρίσιμο διάστημα της επιστημονικής σταδιοδρομίας του, είκοσι χρόνια πριν από την τελική διατύπωση του νόμου της βαρύτητας και τη δημοσίευση των *Principia*, τα χρόνια της μοναξιάς και των πειραματισμών, το πάθος του ήταν η αλχημεία, η οποία μάλιστα τον επηρέασε στη σύλληψη του νόμου της βαρύτητας.

Η αλχημική και θεολογική πλευρά του Νεύτωνα γνωρίζουμε σήμερα ότι επηρέασαν βαθιά το έργο του. Ίσως μάλιστα αυτές να του έδωσαν τη δυνατότητα για μια τελικά μη μηχανιστική και ρηξικέλευθη προσέγγιση των προβλημάτων της τροχιακής κίνησης με τη θεωρία της βαρύτητας, που προϋπέθετε ότι ένα σώμα μπορεί να έλκει κάποιο άλλο από μακριά στο κενό διάστημα χωρίς να υπάρχει μεταξύ τους υλική επαφή. Πίστευε ότι ο Θεός παρείχε τη δύναμη της βαρύτητας και αντιτάχθηκε σθεναρά σε κάθε μηχανιστική ερμηνεία της, καθώς κάτι τέτοιο θα μπορούσε να μειώσει το ρόλο του Θεού.

Οι μεγάλοι σύγχρονοι του Νεύτωνα, ο Descartes, ο Leibniz και ο Huygens, θεωρούσαν μια τέτοια προσέγγιση ως επιστροφή στις μεσαιωνικές αντιλήψεις, κατάλοιπο μαγείας, αφού οι μόνες δυνατές ερμηνείες γι' αυτούς ήταν οι «μηχανικές», στις οποίες τα σώματα έρχονταν σε επαφή το ένα με το άλλο.

Ερωτήσεις

1) O Robert Hooke εξέφρασε την άποψη, νωρίτερα ίσως από το Νεύτωνα, ότι η κίνηση των πλανητών πρέπει να οφείλεται σε μια δύναμη που ελαττώνεται αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο της απόστασης. Δεν κατάφερε,

όμως, να το αποδείξει. Και οι συλλογισμοί με τους οποίους κατέληξε στην άποψη αυτή ήταν λαθεμένοι, όπως απέδειξε ο Νεύτων. Μπορούμε να του αποδώσουμε την πατρότητα του νόμου που απέδειξε τελικά ο Νεύτων; Αρκεί στην επιστημονική διαδικασία, όπως αυτή διαμορφώθηκε στη διάρκεια της Επιστημονικής Επανάστασης, η αναπόδεικτη διατύπωση ενός σωστού έστω συμπεράσματος, για να γίνει αυτό αποδεκτό;

2) Όπως εξηγήσαμε, η ένταξη των κινήσεων και των δυνάμεων στο πλαίσιο μιας ενιαίας και συνεπούς θεωρίας βασίστηκε στο ριζικό μετασχηματισμό της έννοιας της κίνησης και της δύναμης, που πραγματοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του 17ου αιώνα. Αναπτύξτε σύντομα τα χαρακτηριστικά του μετασχηματισμού αυτού. Θεωρείτε το μετασχηματισμό των εννοιών μια διαδικασία που πραγματοποιείται εύκολα; Μήπως κάποιες «ειδικές περιστάσεις» στην ανθρώπινη ιστορία άλλες φορές ευνοούν κάτι τέτοιο και άλλες φορές το αποτρέπουν;

3) Διαβάστε πάλι τη βιογραφία του Νεύτωνα, καθώς και όλες τις επαναστατικές και αποφασιστικής σημασίας συνεισφορές του στα μαθηματικά και στη φυσική. Πώς σχολιάζετε το γεγονός ότι ένας χαρακτήρας τόσο περίπλοκος, με εξαιρετικές ανασφάλειες αλλά και με εξαιρετικές ψυχικές δυνάμεις, βρισκόταν πίσω από αυτές τις τόσο ουσιαστικές για την ιστορία της ανθρώπινης σκέψης ιδέες; Μήπως όσα αναφέρονται για το Νεύτωνα σ' αυτό το κεφάλαιο έρχονται σε αντίθεση με την ιδέα που ως τώρα είχατε σχηματίσει γι' αυτόν; (*)

4) Πώς κρίνετε το χαρακτήρα και τη στάση του Νεύτωνα, όταν χρειάστηκε να συγκρουστεί για τις θεωρίες του στην οπτική σε σχέση με το χαρακτήρα και τη στάση του Γαλιλαίου σε ανάλογες περιπτώσεις;

5) Παρουσιάστε τα τρία αξιώματα της κίνησης, όπως δόθηκαν στις Μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας.

6) Ποιο από τα προβλήματα που κατάφερε να επιλύσει ο Νεύτων στο βιβλίο του Οι μαθηματικές αρχές της φυσικής φιλοσοφίας *σας εντυπωσιάζει περισσότερο; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας .*

7) Μπορείτε να αναπτύξετε γιατί οι Huygens και Leibniz αντέδρασαν τόσο σθεναρά στα Principia*;*

8) Να αναφέρετε τα τέσσερα κύρια στοιχεία της νέας εικόνας του φυσικού κόσμου, που αναδεικνύεται από το έργο του Νεύτωνα.

9) Τι εννοούμε όταν λέμε «νευτώνεια σύνθεση»;

Μέρος Τρίτο: Η Νεότερη επιστήμη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΟΙ ΦΥΣΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΤΟ 18ο ΑΙΩΝΑ

1 Η ΝΕΥΤΩΝΕΙΑ ΚΛΗΡΟΝΟΜΙΑ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο εξετάσαμε το έργο του Νεύτωνα, το οποίο επρόκειτο να παίξει καθοριστικό ρόλο σε όλη τη διάρκεια του 18ου αιώνα. Όπως είδαμε, η νευτώνεια σύνθεση αντιπροσωπεύει την κορύφωση και την ολοκλήρωση της Επιστημονικής Επανάστασης. Για πρώτη φορά στην ιστορία της επιστημονικής σκέψης ενοποιούνται στο πλαίσιο αυτής της σύνθεσης τόσο η γήινη με την ουράνια φυσική όσο και η φυσική με την αστρονομία. Ταυτόχρονα, από μεθοδολογική σκοπιά, εδραιώνονται η μαθηματική αναπαράσταση των φυσικών φαινομένων και η πειραματική διερεύνησή τους. Οι δύο αυτές μεθοδολογικές τομές διατυπώνονται για πρώτη φορά στα έργα του Νεύτωνα *Principia* και *Οπτική* αντίστοιχα: οι θεωρίες που περιέχονται στα *Principia* για την κίνηση των σωμάτων και τη βαρύτητα είναι διατυπωμένες σε μαθηματική γλώσσα, η δε *Οπτική* αντιπροσωπεύει την εφαρμογή της πειραματικής μεθόδου στην ανάλυση της φύσης του φωτός.

Ωστόσο εξακολουθούσαν να υπάρχουν μια σειρά από προβλήματα που η νευτώνεια θεωρία δεν μπορούσε ακόμη να αντιμετωπίσει. Ίσως το πιο σοβαρό απ' όλα ήταν η απουσία μιας μηχανιστικής θεωρίας για τη βαρύτητα. Η βαρύτητα ήταν μια δύναμη που δρούσε εξ αποστάσεως, χωρίς να απαιτεί τη μεσολάβηση κάποιου μέσου για τη μετάδοσή της. Αυτό το χαρακτηριστικό της ήταν ιδιαίτερα απωθητικό για τους φιλοσόφους, που είχαν επηρεαστεί από τη μηχανιστική φιλοσοφία, και είχε ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση της αποδοχής της νευτώνειας φυσικής φιλοσοφίας στην Ηπειρωτική Ευρώπη.

Οι θεολογικές προεκτάσεις, εξάλλου, του νευτώνειου συστήματος είχαν ως αποτέλεσμα να τεθούν σε νέα βάση οι σχέσεις φυσικής φιλοσοφίας και θρησκείας. Οι θεολογικές αυτές προεκτάσεις αναδεικνύονται με ιδιαίτερη σαφήνεια στην αλληλογραφία του φιλοσόφου Samuel Clarke (1675-1729) με το Leibniz, που έλαβε χώρα το 1715-1716 και στη συνέχεια δημοσιεύθηκε και διαβάστηκε από ένα ευρύ κοινό. Ο Clarke υπήρξε μαθητής και οπαδός του Νεύτωνα, και πιστεύεται ότι στη συγκεκρι-

μένη ανταλλαγή επιστολών οι απόψεις που εξέφραζε είχαν υπαγορευτεί από τον ίδιο το Νεύτωνα. Ένα βασικό σημείο διαφωνίας αφορούσε το ρόλο του Θεού στη δημιουργία του σύμπαντος. Κατά τη νευτώνεια θεωρία οι κινήσεις των πλανητών δεν οφείλονται μόνο στην έλξη του ήλιου αλλά και στην αμοιβαία έλξη των πλανητών μεταξύ τους. Επειδή το μαθηματικό πρόβλημα του ακριβούς υπολογισμού αυτών των κινήσεων δεν είχε ακόμα λυθεί, δεν ήταν σαφές αν το όλο σύστημα είναι ευσταθές. Ο Νεύτων θεωρούσε ότι ο Θεός παρεμβαίνει, όταν χρειάζεται, και αποκαθιστά την ευστάθεια του συστήματος. Κατά το Leibniz κάτι τέτοιο ήταν αδιανόητο, διότι θα σήμαινε ότι ο Θεός δεν ήταν σε θέση να εγγυηθεί την απρόσκοπτη λειτουργία του κόσμου. Με άλλα λόγια θα ήταν ένας κακός τεχνίτης, που έπρεπε να επισκευάζει συνεχώς το δημιούργημα του. Η απάντηση του Νεύτωνα, όπως διατυπώθηκε από τον Clarke, στο επιχείρημα αυτό, ήταν ότι η αντίληψη του Leibniz για τον κόσμο, ως ένα μηχανικό σύστημα που λειτουργεί χωρίς την ανάγκη θεϊκής παρέμβασης, καθιστούσε το Θεό περιττό. Μακροπρόθεσμα η άποψη του Leibniz για την ευστάθεια του ηλιακού συστήματος δικαιώθηκε, και μάλιστα από την ίδια τη νευτώνεια θεωρία.

2 Η ΔΙΑΜΑΧΗ ΓΙΑ ΤΗ *VIS-VIVA*

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι τα θεολογικά ζητήματα εξακολουθούσαν να παίζουν ιδιαίτερο ρόλο στις αντιλήψεις των φυσικών φιλοσόφων έως και τις αρχές του 18ου αιώνα. Οι θεολογικές συνέπειες μιας επιστημονικής θεωρίας ήταν, όσο κι αν μας φαίνεται σήμερα παράδοξο, ένα από τα κριτήρια αξιολόγησης της εγκυρότητας της θεωρίας.

Στα τέλη του 17ου και στις αρχές του 18ου αι. έλαβε επίσης χώρα μια άλλη σημαντική διαμάχη που αφορούσε και αυτή τη σχέση του Θεού με το δημιούργημά του. Η διαμάχη αυτή είναι γνωστή ως «διαμάχη για τη *vis-viva*» (διαμάχη για τη ζώσα δύναμη). Ο Leibniz, που εισήγαγε την έννοια αυτής της δύναμης το 1686, θεωρούσε ότι η ποσότητά της στο σύμπαν διατηρείται σταθερή και εξασφαλίζει την απρόσκοπτη λειτουργία του, καθιστώντας περιττή την ανάγκη θεϊκής παρέμβασης. Το θεολογικό ερώτημα που προέκυπτε από τις νέες θεωρίες για τον κόσμο ήταν το εξής: μπορεί η φύση να συνεχίζει να λειτουργεί αενάως σύμφωνα με τους νόμους που έχουμε διαπιστώσει ότι ισχύουν, ή θα πρέπει να υπάρχει η παρέμβαση του Θεού, ώστε να εξασφαλίζεται η συνέχεια της λειτουργίας της; Ο Νεύτων πίστευε πως ήταν απαραίτητη η παρέμβαση του Θεού. Ο Leibniz θεωρούσε πως μια τέτοια φύση, όπου ήταν αναγκαία η κατά καιρούς παρέμβαση του Θεού για τη συνέχιση της λειτουργίας της, ήταν μια φύση ατελής, αφού ο παντοδύναμος Θεός ήταν σε θέση να δημιουργήσει μια φύση που να μην απαιτεί την παρέμβασή του στη συνέχεια.

Η συζήτηση του προβλήματος δεν έγινε τελικά ούτε με καθαρά φιλοσοφικά ή θεολογικά επιχειρήματα αλλά ούτε και με καθαρά επιστημονικούς όρους. Θεωρήθηκε πως ο μόνος τρόπος να συζητηθεί ήταν να διερευνηθεί το ενδεχόμενο ύπαρξης κάποιου μεγέθους, το οποίο φαινομενικά μεν να μπορεί να αλλάζει, ουσιαστικά όμως να διατηρείται αναλλοίωτο. Αν ήταν δυνατόν να εντοπιστεί ένα τέτοιο διατηρητέο μέγεθος, τότε πράγματι θα μπορούσε όχι να αποδειχθεί πλήρως, αλλά τουλάχιστον να υποστηριχθεί με βάσιμα επιχειρήματα ότι ο Θεός δεν παρεμβαίνει στη φύση, δεδομένου ότι ο ίδιος θα είχε δημιουργήσει ένα διατηρητέο μέγεθος, για να εξασφαλίζει ακριβώς την αέναη λειτουργία της.

Ο Descartes είχε από το 1644 διακηρύξει πως η κίνηση (την οποία ο ίδιος θεωρούσε ως το γινόμενο της μάζας με την ταχύτητα) ήταν ένα διατηρητέο μέγεθος. Ο Leibniz θεωρούσε πως το διατηρητέο μέγεθος ήταν η *vis-viva*, την οποία όριζε ως γινόμενο της μάζας με το τετράγωνο της ταχύτητας. Πειράματα στην Ολλανδία το 1722 έδειξαν ότι το μέγεθος που είχε προτείνει ο Leibniz ήταν μάλλον διατηρητέο.



Joseph-Louis Lagrange
(1736-1813)

Παρ' όλα αυτά, δεν υπήρχε, προφανώς, επιστημονικός τρόπος για να αποδειχθεί ποια από τις δύο απόψεις ήταν ορθή. Δεν μπορούσε να υπάρχει ούτε κάποια απόδειξη, αλλά ούτε και κάποιο πείραμα που να επιβεβαιώσει ή να διαψεύσει τη μία από τις δύο απόψεις. Η διαμάχη αυτή εκφράζει τη δυσκολία που είχαν οι επιστήμες να αποδεσμευτούν από τη φιλοσοφία και από τη θεολογία: να καταφέρουν να αποκτήσουν ένα δικό τους χαρακτήρα και μια δική τους «γλώσσα», χωρίς να θεωρείται μειονέκτημα η όποια κριτική γίνεται από τη φιλοσοφία ή από τη θεολογία.

3 Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ Η ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΝΕΥΤΩΝΕΙΑΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

Στο πρώτο μισό του 18ου αι. η νευτώνεια θεωρία πέρασε με επιτυχία τρεις δύσκολες δοκιμασίες, γεγονός που συνέβαλε σε μεγάλο βαθμό στην καθιέρωσή της στην Ηπειρωτική Ευρώπη.

Η πρώτη δοκιμασία αφορούσε τον προσδιορισμό του σχήματος της γης. Σύμφωνα με τη νευτώνεια θεωρία η περιστροφή της γης γύρω από τον εαυτό της θα είχε ως αποτέλεσμα το σχήμα της να μην είναι τελείως σφαιρικό. Η ακτίνα της γης στον Ιση-

Η νευτώνεια μηχανική εξελίχθηκε σημαντικά κατά το 18ο αι. με το έργο τριών σημαντικών Γάλλων μαθηματικών, του Jean Lerond d'Alembert (Ντ' Αλαμπέρ, 1717-1783), του Joseph-Louis Lagrange (Λαγκράνζ, 1736-1813) και του Pierre-Simon Laplace (Λαπλάς, 1749-1827). Το έργο τους στόχευε στην «αναγωγή της θεωρίας της μηχανικής, και της τεχνικής της επίλυσης των σχετικών προβλημάτων σε γενικούς τύπους, των οποίων η απλή επεξεργασία παρέχει όλες τις εξισώσεις που είναι απαραίτητες για την επίλυση κάθε προβλήματος», καθώς και στην «ενοποίηση, και παρουσίαση από μία οπτική γωνία, των διαφόρων αρχών που έχουν, μέχρι στιγμής, βρεθεί χρήσιμες στην επίλυση προβλημάτων της μηχανικής ...».

Lagrange, *Mecanique Analytique* (Παρίσι, 1788).

μερινό θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα της στους πόλους. Αξίζει να σημειωθεί ότι ακριβώς το αντίθετο θα έπρεπε να συμβαίνει, αν ίσχυε η καρτεσιανή θεωρία των στροβίλων. Η περιστροφή του στροβίλου που περιέβαλλε τη γη και δημιουργούσε τη βαρύτητα θα είχε ως αποτέλεσμα τη συμπίεση της γης στον ισημερινό και τη διόγκωσή της στους πόλους. Δύο αποστολές, μία προς το Βόρειο Πόλο και μία προς τον Ισημερινό, στάλθηκαν το 1735 με στόχο τη μέτρηση της καμπυλότητας της γης και, επομένως, το συγκριτικό έλεγχο των δύο θεωριών. Οι τοπογραφικές μετρήσεις που έγιναν επιβεβαίωσαν τη νευτώνεια θεωρία.

Η δεύτερη δοκιμασία είχε σχέση με την κίνηση της σελήνης. Ο υπολογισμός της τροχιάς της ήταν ένα εξαιρετικά δύσκολο μαθηματικό πρόβλημα, διότι η σελήνη κινείται κάτω από την ισχυρή επίδραση τόσο της γης όσο και του ήλιου. Το πρόβλημα αυτό - το πρόβλημα της κίνησης των τριών σωμάτων - δεν μπορεί να λυθεί με ένα μαθηματικά ακριβή τρόπο. Μια προσεγγιστική λύση, με βάση τους νόμους του Νεύτωνα, επιτεύχθηκε το 1749 από τον Alexis-Claude Clairaut (Αλέξις-Κλοντ Κλερό) (1713-1765), και η λύση αυτή ήταν σύμφωνη με τα παρατηρησιακά δεδομένα για την κίνηση της σελήνης.

Η τρίτη και ίσως πιο εντυπωσιακή δοκιμασία αφορούσε την επάνοδο του κομήτη του Halley. Ο κομήτης αυτός είχε παρουσιαστεί το 1682 και επανερχόταν κάθε 75-76 χρόνια. Ο ακριβής καθορισμός της τροχιάς του ήταν ιδιαίτερα δύσκολος, διότι η πορεία του επηρεαζόταν από τις ελκτικές δυνάμεις των μεγάλων πλανητών. Ο Halley είχε προβλέψει ότι ο κομήτης θα εμφανιζόταν ξανά προς το τέλος του 1758 ή στις αρχές του 1759. Ο Clairaut, χρησιμοποιώντας προσεγγιστικές μεθόδους, έκανε μια ακριβέστερη πρόβλεψη της επιστροφής του κομήτη, η οποία επιβεβαιώθηκε με εντυπωσιακό τρόπο. Η επιτυχία της πρόβλεψης αυτής συνέβαλε σημαντικά στην καθολική αποδοχή της νευτώνειας θεωρίας.

Οι προσπάθειες μαθηματικοποίησης της μηχανικής και μηχανιστικής ερμηνείας της φύσης ολοκληρώθηκαν με το έργο του Laplace. Καρπός αυτού του έργου ήταν η μνημειώδης *Mécanique Céleste* [Ουράνια Μηχανική], που δημοσιεύθηκε σε πέντε τόμους, από το 1799 έως το 1825. Ο μαθηματικός φορμαλισμός που ανέπτυξε ο Laplace ήταν τέτοιος, ώστε δεδομένων κάποιων αρχικών συνθηκών οι εξισώσεις έδιναν, κατ' αρχάς, τη δυνατότητα πλήρους πρόβλεψης της μελλοντικής εξέλιξης του κόσμου. Η εικόνα του σύμπαντος ως μιας τεράστιας μηχανής με απόλυτα προκαθορισμένη λειτουργία εδραιώθηκε πλήρως. Τα λόγια του ίδιου του Laplace είναι χαρακτηριστικά:



Pierre-Simon Laplace
(1749-1827)

Πρέπει να θεωρήσουμε την παρούσα κατάσταση του σύμπαντος ως το αποτέλεσμα της παρελθούσης κατάστασης του και ως την αιτία της κατάστασης που θα ακολουθήσει. Μια διάνοια που θα μπορούσε να ξέρει, σε μια δεδομένη στιγμή, όλες τις δυνάμεις που κυβερνούν το φυσικό κόσμο, και τις αντίστοιχες θέσεις των οντοτήτων που τον αποτελούν, εάν επιπρόσθετα ήταν ικανή, ώστε να αναλύσει όλη αυτή την πληροφορία, θα ήταν σε θέση να περιλάβει σε ένα μόνο τύπο τις κινήσεις των μεγαλύτερων σωμάτων στο σύμπαν, καθώς και αυτές του μικρότερου ατόμου: τίποτε δε θα ήταν αβέβαιο γι' αυτήν και το μέλλον, όπως το παρελθόν θα ήταν άμεσα παρόν στη θέασή της.

Αυτή η εικόνα του σύμπαντος, η λεγόμενη αιτιοκρατική (ορισμένοι την αποκαλούν «ντετερμινιστική»), παρέμεινε κυρίαρχη στη φυσική έως τις αρχές του 20ού αι., όταν άρχισε να αμφισβητείται από τις εξελίξεις στη φυσική του μικρόκοσμου.

4 Ο ΝΕΥΤΩΝ ΚΑΙ Ο ΔΙΑΦΩΤΙΣΜΟΣ

Ο νευτωνισμός δεν ήταν μόνο σημαντικός για την εξέλιξη των φυσικών επιστημών, αλλά έπαιξε ιδιαίτερο ρόλο και στη διαμόρφωση της ιδεολογίας του Διαφωτισμού. Το επίκεντρο του Διαφωτισμού ήταν η Γαλλία και ο Διαφωτισμός αποτελούσε ένα εξαιρετικά σύνθετο φιλοσοφικό, κοινωνικό, πολιτικό και, τελικά, ιδεολογικό κίνημα. Εμείς εδώ θα παρουσιάσουμε κάποια στοιχεία που σχετίζονται με το ρόλο των νέων επιστημονικών ιδεών, και της επιστημονικής μεθόδου στη διαμόρφωση του κινήματος του Διαφωτισμού.

Ένας από τους κεντρικούς ήρωες του Διαφωτισμού ήταν ο Νεύτων. Τα εκπλη-

κτικά επιτεύγματα της νευτώνειας φυσικής φιλοσοφίας και της νευτώνειας μεθόδου τις κατέστησαν πρότυπα προς μίμηση. Η επιτυχία του νευτώνειου εγχειρήματος ενέπνευσε το πρόγραμμα του Διαφωτισμού, που είχε ως αίτημα τον εξορθολογισμό και την ερμηνεία της ανθρώπινης συμπεριφοράς βάσει νόμων. Το ζητούμενο ήταν να δημιουργηθούν κοινωνικές επιστήμες που θα ανακάλυπταν τους νόμους που διέπουν την ανθρώπινη συμπεριφορά, όπως ο Νεύτων είχε ανακαλύψει τους νόμους που διέπουν το ηλιακό σύστημα. Η ανακάλυψη αυτών των νόμων θα οδηγούσε στην ορθολογική οργάνωση της κοινωνίας, που με τη σειρά της θα επέτρεπε την εκδήλωση της έμφυτης ανθρώπινης καλοσύνης και την επίτευξη της ευτυχίας.

Πολλοί συγγραφείς κατά τη διάρκεια του 18ου αι., εντυπωσιασμένοι από το εύρος και την επιτυχία της νευτώνειας σύνθεσης, επιχείρησαν να μεταδώσουν με εκλαϊκευτικό τρόπο το περιεχόμενο και τις προεκτάσεις της νευτώνειας φιλοσοφίας. Ο πιο διάσημος *philosophe* (όπως αποκαλούσαν τους εκφραστές του Διαφωτισμού στη Γαλλία), που έγραψε εκλαϊκευτικά έργα με στόχο τη διάδοση του νευτωνισμού, ήταν ο Βολταίρος (1694-1778). Το 1738 δημοσίευσε ένα εκλαϊκευτικό βιβλίο (*Στοιχεία της Φιλοσοφίας του Νεύτωνα*), όπου ανέλυε το νευτώνειο σύστημα. Εξάλλου, η πλούσια φίλη του Madame de Châtelet (Μαντάμ ντε Σατλέ) μετέφρασε στα γαλλικά, στα 1747-1749, τα *Principia.*

Οι διαφωτιστές, αν και εχθρικά διακείμενοι προς την Καθολική Εκκλησία, δεν ήταν, στην πλειοψηφία τους, άθεοι. Ο Βολταίρος, για παράδειγμα, θεωρούσε ότι:

> *Η όλη φιλοσοφία του Νεύτωνα οδηγεί κατ' ανάγκη στη γνώση ενός Υπέρτατου Όντος, που δημιούργησε τα πάντα, τακτοποίησε όλα τα πράγματα σύμφωνα με τη δική του ελεύθερη βούληση ...*
>
> *Εάν οι πλανήτες περιστρέφονται στον κενό χώρο προς μία κατεύθυνση αντί προς μία άλλη, το χέρι του δημιουργού τους, δρώντας με απόλυτη ελευθερία, πρέπει να τους έχει οδηγήσει σε αυτή την κατεύθυνση.*

Βλέπουμε ότι η τάξη που χαρακτηρίζει το νευτώνειο σύστημα του κόσμου λειτούργησε ως επιχείρημα για την ύπαρξη του Θεού. Το ίδιο το έργο του Θεού, η φύση, αποκάλυπτε την παρουσία του.

Πολλές πληροφορίες για τις επιστήμες στην περίοδο του Διαφωτισμού μπορεί να αντλήσει κανείς από ένα ιδιαίτερα αντιπροσωπευτικό έργο της εποχής, την Εγκυκλοπαίδεια. Δημοσιεύτηκε σε 17 τόμους μεταξύ του 1751 και του 1765 και επιμελητές της ήταν ο Denis Diderot (Ντιντερό, 1713-1784) και ο d'Alembert. Τα άρθρα της *Εγκυκλοπαίδειας* κάλυπταν ένα μεγάλο εύρος θεμάτων, ιστορικά, πολιτικά, φιλοσοφικά, θρησκευτικά, επιστημονικά και καλλιτεχνικά. Στόχος της ήταν η διάδοση των νέων επιστημονικών ανακαλύψεων σε ευρύτερα τμήματα του πληθυσμού.

Μια από τις επιστήμες για τις οποίες μας πληροφορεί η *Εγκυκλοπαίδεια* είναι η

χημεία. Το άρθρο για τη χημεία βρίσκεται στον 3ο τόμο (1753) και είναι γραμμένο από ένα Γάλλο χημικό, τον G.F. Venel. Το άρθρο αυτό φαίνεται ότι αποτέλεσε το έναυσμα, για να ασχοληθεί με τη χημεία ο επιφανής Γάλλος χημικός Antoine Laurent Lavoisier, με το έργο του οποίου θα ασχοληθούμε στη συνέχεια.

5 Η ΧΗΜΙΚΗ ΕΠΑΝΑΣΤΑΣΗ

Το 17ο αι. διαμορφώθηκαν, όπως είπαμε, οι θεωρίες και οι κανόνες άσκησης της φυσικής επιστήμης, η οποία αυτονομήθηκε στη συνέχεια από τη φιλοσοφία. Στα τέλη του 18ου αι. ολοκληρώθηκαν οι αντίστοιχες διαδικασίες για τη χημεία, η οποία αυτονομήθηκε από την αλχημεία. Συνήθως η αφετηρία της σύγχρονης επιστήμης της χημείας συνδέεται με την πτώση της θεωρίας του «φλογιστού», με την ανακάλυψη του οξυγόνου και με τη διατύπωση από το Lavoisier μιας νέας θεωρίας για την καύση των σωμάτων με βάση το οξυγόνο. Μια άλλη διάστασή της αφορά την ταξινόμηση των ουσιών. Οι περισσότεροι χημικοί έως τα μέσα του 18ου αι. αποδέχονταν την αρχαιοελληνική άποψη ότι όλα τα φυσικά σώματα αποτελούνταν από γη, νερό, αέρα και φωτιά. Αυτή η ταξινόμηση κλονίζεται κατά τη διάρκεια του 18ου αι. και γίνεται σταδιακά αποδεκτό αφ' ενός ότι ο αέρας δεν είναι μια ομογενής ουσία, αλλά αποτελείται από διάφορα πιο στοιχειώδη συστατικά, και αφ' ετέρου ότι το νερό είναι επίσης μια σύνθετη ουσία, που μπορεί να αποσυντεθεί σε πιο στοιχειώδεις οντότητες. Αποτέλεσμα αυτών των εξελίξεων ήταν η βαθμιαία αποδοχή της σύγχρονης έννοιας των χημικών στοιχείων.

5.1 Η θεωρία του «φλογιστού»

Ο J.J. Becher (Μπέχερ, 1635-1682) και ο μαθητής του G. Stahl (Σταλ, 1660-1734), προκειμένου να ερμηνεύσουν την ταξινόμηση των ουσιών σε ομάδες με βάση τις κοινές ιδιότητές τους (π.χ. μεταλλικές, εύφλεκτες, καυστικές), διατύπωσαν τη θεωρία των «χημικών αρχών», σύμφωνα με την οποία, φορείς αυτών των ιδιοτήτων ήταν κάποιες υλικές αρχές. Μια από αυτές ήταν και η «εύφλεκτη αρχή», την οποία ο Stahl αποκαλούσε *φλογιστό*. Η θεωρία του φλογιστού είχε ως κύριο στόχο την ερμηνεία της καύσης.

Ο Stahl υπέθεσε ότι η φλόγα που βγαίνει όταν καίγεται μια ουσία φανερώνει την απελευθέρωση του φλογιστού. Η πιο πλούσια πηγή φλογιστού θεωρούνταν ο ξυλάνθρακας, γιατί μετά την καύση του απομένει ελάχιστη στάχτη. Σύμφωνα με την ίδια θεωρία τα μέταλλα θεωρούνταν σύνθετες ουσίες που περιείχαν φλογιστό (συ-

γκεκριμένα, το φλογιστό το οποίο απελευθερώνεται από τον ξυλάνθρακα, που καίγεται θερμαίνοντας το αντίστοιχο ορυκτό, για να παραχθεί το μέταλλο). Η παρουσία του φλογιστού σε όλα τα μέταλλα εξηγούσε και τις κοινές ιδιότητές τους (π.χ. τη μεταλλικότητα). Η απομόνωση του καθαρού φλογιστού δεν ήταν δυνατή, αλλά μπορούσε να μεταφερθεί από μία ουσία σε άλλη.

Η θεωρία του φλογιστού, που πολύ συνοπτικά περιγράψαμε πιο πάνω, επικράτησε ως τα μέσα του 18ου αι., καθώς μάλιστα δεν ερχόταν σε αντίθεση με την κοινή εμπειρία. Η θεωρία αυτή επρόκειτο να ανατραπεί από το έργο του Antoine Laurent Lavoisier (Λαβουαζιέ, 1743-1794).

5.2 Ο Lavoisier και η χημεία των αερίων



Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794)

Ο Lavoisier, κεντρική μορφή της χημικής επανάστασης, άρχισε να ασχολείται με τη χημεία κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1760. Φαίνεται ότι στις αρχικές μελέτες του υιοθετούσε την παραδοσιακή θεωρία των τεσσάρων στοιχείων, καθώς και την έννοια του φλογιστού.

Καθοριστικό ρόλο για τη διαμόρφωση των απόψεων του Lavoisier έπαιξε μια πραγματεία περί των στοιχείων του Γερμανού χημικού J.T. Eller (Έλλερ, 1689-1760). Ο Eller επιχείρησε να μειώσει τον αριθμό των στοιχείων, υποστηρίζοντας ότι ο αέρας ήταν σύνθετος και αποτελούνταν από νερό και από φωτιά, η οποία μάλιστα προκαλούσε τη διασταλτικότητά του. Ο Lavoisier υιοθέτησε την πρόταση του Eller και διατύπωσε την εικασία ότι βασικό συστατικό του αέρα ήταν μια άγνωστη ουσία, η οποία σε συνδυασμό με τη φωτιά, έπαιρνε τη μορφή ατμού. Αυτή η εικασία, που διατυπώθηκε το 1766, αποτέλεσε τον πυρήνα της μετέπειτα θεωρίας του για την ατμώδη κατάσταση της ύλης.

Η μελέτη των διαφόρων μορφών αέρα καταλάμβανε κεντρική θέση στη χημεία της εποχής εκείνης. Ο S. Hales (Χέιλς, 1677-1761) είχε ανακαλύψει ότι ο αέρας ήταν παγιδευμένος σε διάφορες ουσίες, όπως τα λαχανικά, το ξύλο και το ανθρώπινο αίμα, από τις οποίες μπορούσε να απελευθερωθεί. Αυτή η ανακάλυψη αποτέλεσε την αφετηρία της «πνευματικής χημείας» στη Βρετανία, που είχε ως αντικείμενο την απομόνωση και τη διερεύνηση του παγιδευμένου σε ουσίες αέρα.

Το 1772 ο Lavoisier ξεκίνησε μια σειρά πειραμάτων με στόχο να διερευνήσει το ρόλο του αέρα στις χημικές διαδικασίες. Μεταξύ άλλων πραγματοποίησε το ακόλουθο πείραμα: τοποθέτησε φώσφορο σε μια φιάλη, την οποία άρχισε να θερμαίνει. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την καύση του φωσφόρου, που συνοδευόταν από την εκπομπή πυκνού λευκού καπνού. Αν η φιάλη περιείχε περιορισμένη ποσότητα αέρα, δεν καιγόταν όλος ο φώσφορος αλλά μόνο ένα μέρος του. Ο Lavoisier διαπίστωσε ότι τα προϊόντα της καύσης ζύγιζαν περισσότερο από την αρχική ουσία. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν, όταν αντί για φώσφορο ο Lavoisier χρησιμοποίησε θείο.

Τα πειράματα αυτά είναι ενδεικτικά μιας νέας πρακτικής που εισήγαγε ο Lavoisier στη χημεία και αποτέλεσε τη βάση της χημικής επανάστασης. Σύμφωνα με το Γάλλο χημικό M. Berthelot (Μπερτελό, 1827-1907), ο οποίος μελέτησε και την ιστορία της χημείας, η νέα αυτή πρακτική ήταν «να ζυγίζει με ακρίβεια όλα τα προϊόντα των χημικών αντιδράσεων· όχι μόνο τα στερεά ή τα υγρά προϊόντα, πράγμα που γινόταν ανέκαθεν, αλλά και τα αέρια προϊόντα».

Το ίδιο έτος ο Lavoisier ανακοίνωσε τα αποτελέσματα των ερευνών του στη Γαλλική Ακαδημία Επιστημών. Τα αποτελέσματα αυτά τον οδήγησαν, στις αρχές του 1773, να απορρίψει την έννοια του φλογιστού.

Η σημασία του αέρα για την καύση και τη διαπύρωση ήταν γνωστή από το 17ο αιώνα. Μια σειρά πειραμάτων (και του Boyle μεταξύ άλλων) είχαν δείξει ότι η παρουσία του αέρα είναι απαραίτητη για την πραγματοποίηση της καύσης. Αν τοποθετήσουμε, για παράδειγμα, ένα αναμμένο κερί σ' ένα δοχείο και αφαιρέσουμε με μια αντλία όλο τον αέρα από το εσωτερικό του, το κερί θα σβήσει. Η θεωρία του φλογιστού ήταν σε θέση να εξηγήσει την καθοριστική σημασία του αέρα για την καύση: ο αέρας λειτουργεί σαν σφουγγάρι που απορροφά το φλογιστό που απελευθερώνεται από μια ουσία. Η απουσία του αέρα καθιστά αδύνατη την απορρόφηση του φλογιστού και επομένως την καύση.

5.3 Η ανακάλυψη του οξυγόνου και η λύση του προβλήματος της καύσης

Τον Απρίλιο του 1774 ο Lavoisier κατέθεσε στη Γαλλική Ακαδημία ένα ακόμη σημείωμα, που αφορούσε τα πειράματά του γύρω από τη διαπύρωση των μετάλλων. Παρόμοια πειράματα είχε εκτελέσει ο Βρετανός χημικός Robert Boyle, θερμαίνοντας κασσίτερο και μόλυβδο μέσα σε σφραγισμένα δοχεία. Όταν τα δοχεία επανακτούσαν την αρχική θερμοκρασία τους, ο Boyle τα άνοιγε και τα ζύγιζε. Αυτό που παρατηρούσε ήταν μια αύξηση του βάρους τους, την οποία απέδιδε στο ότι τα μέταλλα είχαν απορροφήσει πύρινα σωματίδια από την πηγή θερμότητας. Ο Lavoisier,

αντίθετα, πίστευε ότι ο σχηματισμός μεταλλικής τέφρας, που ζύγιζε περισσότερο από το αρχικό μέταλλο, οφειλόταν στην απορρόφηση αέρα από το εσωτερικό του δοχείου. Αν αυτή η πεποίθηση ήταν σωστή, τότε το συνολικό βάρος του δοχείου μετά τη θέρμανση, αλλά πριν ανοιχτεί (προτού δηλαδή εισέλθει αέρας), θα ήταν το ίδιο με το βάρος του πριν από τη θέρμανση. Χρησιμοποιώντας μόλυβδο ο Lavoisier επιβεβαίωσε την υπόθεση αυτή.

Οι μετρήσεις του Lavoisier έδειξαν ότι μόνο ένα μικρό μέρος του αέρα (γύρω στο 20%) απορροφάται από το μέταλλο κατά το σχηματισμό της μεταλλικής τέφρας, και ότι η διάρκεια της διαδικασίας της διαπύρωσης εξαρτάται από τη διαθέσιμη ποσότητα αέρα. Η εξήγηση αυτού του φαινομένου, καθώς και η φύση του απορροφώμενου αέρα άρχιζαν να απασχολούν έντονα τον Lavoisier.



Joseph Priestley (1733-1804)

Σε αυτό το σημείο υπήρξε καθοριστική η συνεισφορά του Βρετανού χημικού Joseph Priestley (Πρίσλεϋ, 1733-1804), ο οποίος ήταν ένας από τους πρωτοπόρους ερευνητές στην πνευματική χημεία. Μελέτησε πειραματικά μια σειρά από διαφορετικά είδη αέρα και διατύπωσε κριτήρια που του επέτρεπαν να τα διακρίνει. Τον Αύγουστο του 1774 ο Priestley θέρμανε κόκκινη τέφρα υδραργύρου. Το αποτέλεσμα ήταν η απελευθέρωση ενός αερίου και ο μετασχηματισμός της τέφρας σε υδράργυρο. Το εντυπωσιακό χαρακτηριστικό αυτού του αερίου ήταν ότι ενίσχυε τη διαδικασία της καύσης. Βάζοντας ένα αναμμένο κερί σ' ένα δοχείο που περιείχε αυτό το αέριο παρατηρούσε ότι η φλόγα του γινόταν πολύ πιο έντονη. Επίσης, το νέο αέριο διευκόλυνε την αναπνοή. Φαινόταν, επομένως, ότι η «ποιότητα» του νέου αερίου ήταν «καλύτερη» από την ποιότητα του κοινού αέρα.

Τον Οκτώβριο του 1774 ο Priestley συναντήθηκε με το Lavoisier στο Παρίσι και τον ενημέρωσε για τα πειράματα που είχε κάνει. Ο Lavoisier πραγματοποίησε και ο ίδιος παρόμοια πειράματα και ανακοίνωσε τα αποτελέσματά τους στη Γαλλική Ακαδημία. Αξίζει να σημειωθεί ότι το όνομα του Priestley δεν αναφέρεται πουθενά στην ανακοίνωση του Lavoisier.

Η τελική λύση του προβλήματος της διαπύρωσης των μετάλλων δόθηκε από το Lavoisier λίγα χρόνια αργότερα (1777-78). Ζεσταίνοντας υδράργυρο μέσα σε περιορισμένη ποσότητα αέρα, παρατήρησε το σχηματισμό τέφρας στην επιφάνειά του. Όταν έπαψε να σχηματίζεται άλλη τέφρα, ο Lavoisier παρατήρησε ότι ο όγκος του αέρα είχε μειωθεί κατά μια ποσότητα, που είχε καταφέρει να προσδιορίσει, ενώ ο

αέρας που είχε απομείνει διέφερε από τον κοινό αέρα ως προς το ότι δεν υποστήριζε την καύση. Στο επόμενο στάδιο του πειράματος ο Lavoisier θέρμανε την τέφρα του υδραργύρου που είχε προκύψει, με αποτέλεσμα τη δημιουργία υδραργύρου και ποσότητας αερίου ίσης με εκείνη που είχε αφαιρεθεί. Το αέριο αυτό, όμως, ενίσχυε την καύση. Το πείραμα έδειχνε, σύμφωνα με το Lavoisier, ότι ο αέρας είναι μείγμα δύο διαφορετικών αερίων: του «οξυγόνου», που διευκολύνει την καύση και απορροφάται από τα μέταλλα κατά τη διαπύρωση, και του αζώτου.

Συνοψίζοντας, θα ήταν χρήσιμο να παραθέσουμε ένα παράδειγμα διαπύρωσης ενός μετάλλου (π.χ. του μολύβδου) και ένα παράδειγμα αναγωγής της αντίστοιχης μεταλλικής τέφρας, καθώς και τις διαφορετικές ερμηνείες αυτών των διαδικασιών με βάση το φλογιστό και με βάση το οξυγόνο. Κατ' αυτό τον τρόπο θα γίνει σαφές ότι οι δύο αυτές ερμηνείες είναι «αντίστροφες» (στην πρώτη περίπτωση το φλογιστό απελευθερώνεται, ενώ το οξυγόνο δεσμεύεται, στη δεύτερη περίπτωση το φλογιστό προσλαμβάνεται από την τέφρα μολύβδου, ενώ απελευθερώνεται «σταθεροποιημένος αέρας»).

Ερμηνεία της διαπύρωσης και της αναγωγής με βάση το φλογιστό

μόλυβδος → τέφρα του μολύβδου + φλογιστό

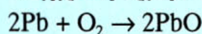
τέφρα του μολύβδου + φλογιστό (προερχόμενο από ξυλάνθρακα) → μόλυβδος

Ερμηνεία της διαπύρωσης και της αναγωγής με βάση το οξυγόνο

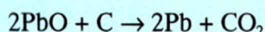
μόλυβδος + οξυγόνο → τέφρα του μολύβδου

τέφρα του μολύβδου + ξυλάνθρακας → μόλυβδος + σταθεροποιημένος αέρας

Σύγχρονη ερμηνεία



$2Pb + O_2 \rightarrow 2PbO$



$2PbO + C \rightarrow 2Pb + CO_2$

ΠΟΙΟΣ ΑΝΑΚΑΛΥΨΕ ΤΟ ΟΞΥΓΟΝΟ;

Με βάση τα παραπάνω, πώς θα μπορούσαμε να απαντήσουμε στο ερώτημα «ποιος ανακάλυψε το οξυγόνο, ο Priestley ή ο Lavoisier»; Ο Priestley παρατήρησε ένα αέριο που απελευθερωνόταν, όταν θέρμαινε τέφρα υδραργύρου, το οποίο ήταν από πολλές απόψεις «καλύτερο« από τον κοινό αέρα. Το ονόμασε «αποφλογιστικοποιημένο αέρα». Ο Lavoisier επανέλαβε το ίδιο πείραμα και σχημάτισε την άποψη ότι το αέριο που απελευθερωνόταν ήταν ατμοσφαιρικός αέρας με τη διαφορά ότι εξέρχεται πιο καθαρός. Σταδιακά κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το αέριο ήταν στην πραγματικότητα ένα ξεχωριστό συστατικό του ατμοσφαιρικού αέρα, το οποίο έως τότε θεωρούσε ομογενή.

Πότε, λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι ανακαλύφθηκε το οξυγόνο; Εάν η ανακάλυψη του οξυγόνου συνίσταται στην εύρεση ενός ακάθαρτου δείγματος, τότε θα καταλήγαμε

στην παράδοξη άποψη ότι ανακαλύφθηκε από τον πρώτο άνθρωπο που εμφιάλωσε ατμοσφαιρικό αέρα. Προφανώς ως κριτήριο ανακάλυψης θα πρέπει να θεωρήσουμε την εύρεση ενός σχετικά καθαρού δείγματος, όπως αυτό που συνέλεξε ο Priestley. Όμως ο Priestley προσδιόρισε το αέριο ως αποφλογιστικοποιημένο αέρα, ένα ιδιαίτερα καθαρό είδος ατμοσφαιρικού αέρα, που βέβαια δε συμπίπτει με το οξυγόνο. *Είναι σαφές ότι για να ανακαλύψει κανείς κάτι πρέπει να έχει συνειδητοποιήσει την ανακάλυψη και να γνωρίζει τι είναι αυτό που έχει ανακαλύψει.*

Ενδεχομένως μόνο ο Lavoisier γνώριζε αρκετά (από το 1777 και μετά) για το νέο αέριο και επομένως ήταν ο μόνος που ανακάλυψε το οξυγόνο. Αλλά και αυτό θα μπορούσε να αμφισβητηθεί, γιατί από το 1777 και ως το τέλος της ζωής του ο Lavoisier προσδιόριζε το οξυγόνο ως μια «αρχή οξύτητας». Το αέριο οξυγόνο αποτελούνταν από την ένωση αυτής της «αρχής» με το θερμιδικό ρευστό (τον φορέα της θερμότητας), οντότητες που εγκαταλείφθηκαν κατά το 19ο αιώνα. Μήπως, λοιπόν, το οξυγόνο δεν ανακαλύφθηκε ούτε από το Lavoisier;

Η απόπειρα ανασυγκρότησης των επιστημονικών ανακαλύψεων δείχνει ότι είναι εξαιρετικά δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να προσδιοριστεί με σαφήνεια η χρονική στιγμή στην οποία λαμβάνει χώρα μια ανακάλυψη.

5.4 Η υποδοχή της θεωρίας του Lavoisier και η νέα χημική ορολογία

Κατά τη δεκαετία του 1780 οι περισσότεροι χημικοί αποδέχτηκαν σταδιακά τη θεωρία του Lavoisier. Όμως, υπήρξαν κάποιοι, όπως οι Priestley και H. Cavendish (Κάβεντις, 1731-1810), που παρέμειναν προσκολλημένοι στη φλογιστική θεωρία έως το τέλος της ζωής τους. Η χημική επανάσταση ολοκληρώθηκε με την εισαγωγή μιας νέας χημικής ορολογίας. Αυτό ήταν, επίσης, έργο του Lavoisier σε συνεργασία με τους de Morveau (ντε Μορβό), Berthollet (Μπερτολέ) και de Fourcroy (ντε Φουρκρουά). Ο Lavoisier θεωρούσε ότι τα ονόματα των ουσιών πρέπει να αντανακλούν τις ιδιότητες και τη χημική σύστασή τους, πράγμα που δε συνέβαινε με την τρέχουσα χημική ονοματολογία. Τα ονόματα πολλών ουσιών προέρχονταν από την αλχημική παράδοση και, σύμφωνα με τον Lavoisier, ήταν αυθαίρετα και προκαλούσαν σύγχυση (π.χ. «βιτριόλι της Αφροδίτης», «πράσινος λέων» κτλ.). Αντίθετα, οι ρίζες των νέων ονομάτων ήταν λατινικές και ελληνικές. Ο αποφλογιστικοποιημένος αέρας, για παράδειγμα, ονομάστηκε «οξυγόνο» (*οξύ* και *γεννώ*), επειδή ο Lavoisier πίστευε ότι η ένωσή του με άλλες ουσίες δημιουργεί οξέα.

Η νέα ορολογία συνάντησε αντιδράσεις στη Γαλλία και ιδιαίτερα στο εξωτερικό. Η υιοθέτησή της, σύμφωνα με τους κριτικούς της, θα καθιστούσε την πρόσβαση στα παλαιότερα χημικά εγχειρίδια και κείμενα αδύνατη. Επιπλέον, βασιζόταν σε μια νέα

θεωρία (του Lavoisier), που δεν είχε ελεγχθεί διεξοδικά. Για να προωθήσει το νέο σύστημα, ο Lavoisier έγραψε ένα εγχειρίδιο με τίτλο *Traité Élémentaire de Chimie* [Στοιχειώδης πραγματεία περί Χημείας, 1789], η σημασία του οποίου για τη χημεία είναι αντίστοιχη με τη σημασία των Principia για τη φυσική φιλοσοφία. Στο βιβλίο αυτό υπήρχε ένας κατάλογος 33 στοιχείων. Τα στοιχεία, σύμφωνα με τον Lavoisier, ορίζονταν ως ουσίες που ήταν αδύνατον να αποσυντεθούν σε κάτι πιο απλό. Ο κατάλογος αυτός περιελάμβανε 23 στοιχεία με τη σημερινή σημασία του όρου (π.χ. οξυγόνο ή υδρογόνο), αλλά και οντότητες που δε θα αναγνωρίζαμε σήμερα ως στοιχεία (π.χ. το φως ή το θερμιδικό).

Ερωτήσεις

1) Ποια ήταν τα επιτεύγματα και ποια τα ανοικτά προβλήματα της νευτώνειας κληρονομιάς;

2) Το ζήτημα της παρέμβασης του Θεού στον κόσμο είχε μεγάλη σημασία για την υποδοχή της νευτώνειας μηχανικής στην Ηπειρωτική Ευρώπη. Θεωρείτε θεμιτό θεολογικά ζητήματα να υπεισέρχονται στην αξιολόγηση μιας επιστημονικής θεωρίας;

3) Περιγράψτε τη διαμάχη για τη vis-viva και αναφερθείτε στις θεολογικές και στις φιλοσοφικές διαστάσεις της.

4) Πώς επικράτησε τελικά η νευτώνεια μηχανική;

5) Ποια ήταν η σημασία του Νεύτωνα για τη διαμόρφωση της ιδεολογίας του Διαφωτισμού;

6) Είναι δυνατόν να πούμε με σαφήνεια πότε και από ποιον ανακαλύφθηκε το οξυγόνο; Αιτιολογείστε την απάντησή σας. (*)

7) Ο Lavoisier διακήρυσσε ότι είχε κάνει μια «επανάσταση« στη χημεία. Ήταν δικαιολογημένος ο ισχυρισμός του; Ποια είναι τα κοινά σημεία και ποιες οι διαφορές ανάμεσα σ' αυτήν την επανάσταση και στην Επιστημονική Επανάσταση του 17ου αιώνα;

8) Ποιες ήταν οι πιο σημαντικές πλευρές της χημικής επανάστασης;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΟ 19ο ΚΑΙ ΤΟΝ 20ό ΑΙΩΝΑ

Το 19ο αι. ολοκληρώνεται η λεγόμενη κλασική φυσική. Ο όρος χρησιμοποιείται σε αντιδιαστολή με τη σύγχρονη φυσική, την κβαντική θεωρία και τη θεωρία της σχετικότητας. Ο όρος «φυσική« έχει πάρει πια τη σημερινή σημασία του και αναφέρεται στη μηχανική, στη μελέτη της θερμότητας, του ηλεκτρισμού, του μαγνητισμού και του φωτός. Τα βασικά εργαλεία για τη διερεύνηση αυτών των φαινομένων είναι τα μαθηματικά και το πείραμα. Η μετατροπή των ερμηνειών σε μαθηματικές θεωρίες, η ποσοτικοποίηση των πειραματικών γνώσεων και η ενοποίηση διαφορετικών, εκ πρώτης όψεως, φυσικών φαινομένων, χαρακτηρίζουν τις εξελίξεις στη φυσική του 19ου αιώνα.

Οι θεωρίες που προτείνονται για τα θερμικά, τα ηλεκτρικά, τα μαγνητικά και τα οπτικά φαινόμενα είναι διατυπωμένες σε μαθηματική γλώσσα. Αποκλειστικός στόχος της πειραματικής επιστήμης γίνεται η απόκτηση γνώσης μέσα από ακριβείς μετρήσεις και όχι τόσο η ποιοτική διερεύνηση των φυσικών φαινομένων. Η σημασία της μέτρησης είναι εμφανής σε ένα απόσπασμα από μια ομιλία του William Thomson (μετέπειτα Λόρδου Kelvin, 1824-1907):

> *Συχνά λέω ότι όταν μπορείς να μετρήσεις αυτό για το οποίο μιλάς και να το εκφράσεις με αριθμούς ξέρεις κάτι γι' αυτό· αλλά όταν δεν μπορείς να το μετρήσεις, όταν δεν μπορείς να το εκφράσεις με αριθμούς, η γνώση σου είναι πενιχρή και μη ικανοποιητική: μπορεί να είναι το ξεκίνημα της γνώσης, αλλά έχεις μόλις και μετά βίας ... προχωρήσει στο στάδιο της Επιστήμης.*

Η ποσοτικοποίηση των φυσικών επιστημών από το 1800 και μετά είναι τέτοιας έκτασης, που ο ιστορικός και φιλόσοφος της επιστήμης T. Kuhn κάνει λόγο για μια δεύτερη επιστημονική επανάσταση.

Σ' όλη τη διάρκεια του αιώνα πολλές διαφορετικές περιοχές της φυσικής ενοποιούνται. Ο ηλεκτρισμός, ο μαγνητισμός και η οπτική εξηγούνται, μετά τα μέσα του αιώνα, στο πλαίσιο μιας ενιαίας ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, προϊόν της συνθετικής δουλειάς του Βρετανού φυσικού J.C. Maxwell (Μάξγουελ). Την ίδια περίπου εποχή, τα θερμικά φαινόμενα ερμηνεύονται ως αποτέλεσμα της κίνησης και της αλληλεπίδρασης μικροσκοπικών σωματιδίων, των μορίων, που υπακούουν στους νόμους της νευτώνειας μηχανικής. Δηλαδή, η θερμότητα εντάσσεται σ' ένα μηχανιστικό πλαίσιο.

Μετά το 1850 η μηχανιστική θεώρηση του κόσμου, δηλαδή η άποψη ότι το μόνο που υπάρχει στο σύμπαν είναι ύλη σε κίνηση, κυριαρχεί πλήρως. Τα φυσικά φαινόμενα προσεγγίζονται με τρεις διαφορετικούς τρόπους, που αποτελούν διαφορετικές όψεις της μηχανιστικής προσέγγισης της φύσης.

Ο πρώτος τρόπος συνίσταται στη διατύπωση εξηγήσεων με βάση τα σωματίδια που αποτελούν την ύλη και τις δυνάμεις που ασκούν μεταξύ τους. Αυτός ο τρόπος χαρακτηρίζει κυρίως, όπως ήδη είπαμε, την εξήγηση των θερμικών φαινομένων.

Ο δεύτερος τρόπος βασίζεται στη δημιουργία μηχανικών μοντέλων ή συσκευών, που αναπαριστούν τα υπό διερεύνηση φαινόμενα. Τα λόγια του Λόρδου Kelvin είναι και σε αυτή την περίπτωση χαρακτηριστικά: «Ποτέ δε μένω ικανοποιημένος προτού μπορέσω να κατασκευάσω ένα μηχανικό μοντέλο για κάτι. Εάν μπορώ να κάνω ένα μηχανικό μοντέλο, τότε μπορώ να το καταλάβω». Βλέπουμε, λοιπόν, ότι η δημιουργία μηχανικών μοντέλων ανάγεται σε προϋπόθεση για την κατανόηση και την εξήγηση των φυσικών φαινομένων.

Ο τρίτος τρόπος βασίζεται στο φορμαλισμό της δυναμικής, όπως διαμορφώθηκε από τη μαθηματική αναδιατύπωση της νευτώνειας μηχανικής από τον J.-L. Lagrange στον αιώνα που είχε προηγηθεί. Το κεντρικό χαρακτηριστικό αυτής της προσέγγισης είναι ότι για τη μελέτη ενός μηχανικού συστήματος δεν απαιτείται η γνώση των δυνάμεων που ασκούνται μεταξύ των σωμάτων που το απαρτίζουν. Είναι αρκετή, για τη μελέτη ενός τέτοιου συστήματος, η γνώση της ενέργειάς του.

Η έννοια της ενέργειας, ως μεγέθους που διατηρείται, είναι επίσης προϊόν του 19ου αιώνα. Η έννοια αυτή έπαιξε ρόλο τόσο στην ενοποίηση διαφορετικών φαινομένων όσο και στην ένταξή τους σ' ένα μηχανιστικό πλαίσιο· αφ' ενός τα μηχανικά, θερμικά, ηλεκτρικά, μαγνητικά και οπτικά φαινόμενα ερμηνεύονται ως διαφορετικές εκδηλώσεις μιας ενιαίας «δύναμης», της ενέργειας, και αφ' ετέρου, μετά τις αρχές της δεκαετίας του 1850 και τη διατύπωση ενός σαφούς ορισμού της ενέργειας, οι εξηγήσεις πολλών από αυτά τα φαινόμενα εντάσσονται, τουλάχιστον θεωρητικά αν όχι και στην πράξη, στη μηχανική. Κι αυτό γιατί η ενέργεια (ο διαχωρισμός της σε κινητική και σε δυναμική) ορίζεται με βάση τη διάταξη και την κινητική κατάσταση των μερών ενός μηχανικού συστήματος.

Εκτός από την έννοια της ενέργειας, κατά το 19ο αι. αποκτούν ιδιαίτερη σημασία και άλλες έννοιες, όπως οι έννοιες του αιθέρα και του πεδίου. Ο αιθέρας προτείνεται αρχικά ως το μέσο εντός του οποίου μεταδίδεται το φως. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να εξηγηθεί η μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών. Ο ρόλος του στη φυσική υπήρξε ενοποιητικός. Η ηλεκτρομαγνητική θεωρία, για παράδειγμα, που ενοποιεί τα ηλεκτρικά, τα μαγνητικά και τα οπτικά φαινόμενα, διατυπώνεται, στην τελική μορφή της, με βάση τις ιδιότητες και τις κινήσεις του αιθέρα.

Κεντρική έννοια της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας αποτελεί επίσης ή έννοια του πεδίου. Διατυπώνεται για πρώτη φορά στα μέσα της δεκαετίας του 1840 από το Βρετανό φυσικό και χημικό M. Faraday (Φάραντεϊ), και στη συνέχεια υιοθετείται και αναπτύσσεται από τους W. Thomson και J.C. Maxwell. Η έννοια του πεδίου στόχευε στην ερμηνεία της μετάδοσης μιας δύναμης από ένα σώμα σε κάποιο άλλο. Σε ό,τι αφορά τις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις, έγινε σαφές από μια σειρά πειραματικών και θεωρητικών ερευνών ότι η μετάδοσή τους δεν ήταν στιγμιαία, αλλά απαιτούσε κάποιο χρονικό διάστημα. Ως φορέας της μετάδοσης θεωρήθηκε το πεδίο. Οι απόψεις, όμως, για τη φύση αυτής της οντότητας διέφεραν. Ο Faraday θεωρούσε ότι αντιστοιχεί στην κατανομή των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων στο χώρο, ενώ ο Maxwell πίστευε ότι πρόκειται για ιδιότητα του αιθέρα.


Michael Faraday (1791-1867)

Αν και η ηλεκτρομαγνητική θεωρία και η έννοια του πεδίου διατυπώθηκαν αρχικά με βάση τη μηχανική, προς το τέλος του αιώνα γίνεται ολοένα και πιο σαφές ότι η ηλεκτρομαγνητική θεωρία δεν είναι δυνατόν να αναχθεί στη μηχανική. Σταδιακά η κοινότητα των φυσικών συνειδητοποιεί ότι οι δύο αυτές θεωρίες είναι ασύμβατες και επιχειρεί να θεμελιώσει όλη τη φυσική στην ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Οι δυσκολίες αυτού του εγχειρήματος οδήγησαν τελικά στην υπέρβαση της κλασικής φυσικής και στη διατύπωση της θεωρίας της σχετικότητας.

Στις ενότητες που ακολουθούν θα εξετάσουμε τρία σημαντικά επεισόδια από τη φυσική του 19ου αιώνα: την εδραίωση της κυματικής θεωρίας του φωτός, τη συγκρότηση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας και την ανακάλυψη της διατήρησης της ενέργειας.

Η ΑΤΟΜΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Μια πρώιμη εκδοχή της «ατομικής υπόθεσης» διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τους Ίωνες φιλοσόφους Λεύκιππο (περ. 430 π.Χ.) και Δημόκριτο (περ. 460-371 π.Χ.), που υποστήριζαν ότι η ύλη αποτελείται από πολύ μικρές, στοιχειώδεις οντότητες, τα άτομα, τα οποία δεν είναι δυνατόν να διαιρεθούν σε μικρότερα σωματίδια. Οι ατομιστές πίστευαν πως τα άτομα κινούνται αενάως στο κενό. Τα έργα τους, με ελάχιστες εξαιρέσεις,

δε σώζονται και ό,τι ξέρουμε για αυτά προέρχεται από μεταγενέστερες πηγές.

Η ατομική θεωρία δεν ήταν δημοφιλής κατά την ύστερη αρχαιότητα και το Μεσαίωνα, ίσως επειδή είχε απορριφθεί από τον Αριστοτέλη και από τον Πλάτωνα. Αναβίωσε κατά το 17ο αι., κυρίως με το έργο του P. Gassendi. Μια εξίσου σημαντική εξέλιξη κατά τη διάρκεια του 17ου αι. ήταν η απόπειρα εξήγησης των φυσικών φαινομένων με βάση τις ιδιότητες μικροσκοπικών στοιχειωδών οντοτήτων. Αυτή η ιδέα εμφανίζεται στο έργο του Descartes και χρησιμοποιείται από τους Boyle και Νεύτωνα.

Σημαντικό σταθμό στην εξέλιξη του ατομισμού, δηλαδή της ερμηνευτικής προσέγγισης των φυσικών φαινομένων με βάση τις ιδιότητες των ατόμων, αποτελεί το έργο του J. Dalton (Ντάλτον, 1766-1844), του δημιουργού της σύγχρονης ατομικής θεωρίας. Ο Dalton ανασυγκρότησε τη χημεία με βάση την ατομική θεωρία και δημοσίευσε τα αποτελέσματα των ερευνών του σε δύο τόμους με τίτλο *Ένα νέο σύστημα της χημικής φιλοσοφίας* (το 1810 και το 1827 αντίστοιχα). Οι χημικές αντιδράσεις, σύμφωνα με τον Dalton, ταυτίζονταν με μια αναδιάταξη των ατόμων, που είχε ως αποτέλεσμα το σχηματισμό νέων μορίων. Τα άτομα ήταν μικρές σφαιρικές ποσότητες ύλης, που περιβάλλονταν από ένα, επίσης σφαιρικό, στρώμα θερμότητας.

Το πιο σημαντικό επίτευγμα του Dalton ήταν ότι συνέλαβε μια μέθοδο για να υπολογίζει τα σχετικά βάρη των ατόμων από μακροσκοπικές μετρήσεις. Αυτή η μέθοδος, που συνέβαλε ιδιαίτερα στην αποδοχή της ατομικής θεωρίας, βασιζόταν σε τέσσερις παραδοχές:

1. Η ύλη αποτελείται από στερεές, ασυμπίεστες και στοιχειώδεις οντότητες, τα άτομα.
2. Τα άτομα παραμένουν αμετάβλητα σε όλες τις χημικές αντιδράσεις.
3. Διαφορετικά χημικά στοιχεία αποτελούνται από διαφορετικά άτομα.
4. Κάθε άτομο χαρακτηρίζεται από μία ιδιότητα, το σχετικό (ως προς το υδρογόνο) ατομικό βάρος.

Η ιδέα του σχετικού ατομικού βάρους έδωσε τη δυνατότητα εξήγησης του «νόμου των καθορισμένων αναλογιών», που εδραιώθηκε μέσα από τις συστηματικές προσπάθειες του Joseph-Louis Proust (Προυστ, 1754-1826). Σύμφωνα με αυτό το νόμο, οι χημικές ενώσεις αποτελούνται από στοιχεία που ενώνονται σε σταθερές και καθορισμένες αναλογίες.

Ο Dalton είχε υποθέσει ότι υπάρχουν περίπου 50 διαφορετικά είδη ατόμων (όσα και τα χημικά στοιχεία που ήταν τότε γνωστά). Πολλοί χημικοί στις αρχές του 19ου αι. είχαν δυσκολία να αποδεχτούν αυτή την υπόθεση, θεωρώντας ότι ο Θεός δε θα δημιουργούσε έναν τόσο πολύπλοκο κόσμο. Αυτή η δυσπιστία εκφράστηκε στο έργο του William Prout (Πράουτ, 1785-1850). Ο Prout παρατήρησε ότι τα σχετικά ατομικά βάρη, στο σχήμα του Dalton, ήταν σχεδόν ακέραιοι αριθμοί. Αυτό, σύμφωνα με τον Prout, αποτελούσε μια ένδειξη ότι το βασικό συστατικό της ύλης ήταν το υδρογόνο. Η «υπόθεση του Prout», όπως ονομάστηκε αργότερα, παρέμεινε ευρέως αποδεκτή ως τις αρχές του 20ού αιώνα.

1 Η ΚΥΜΑΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΦΩΤΟΣ

Κατά τη διάρκεια του 18ου αι. το φως θεωρούνταν αβαρές («ανεπαίσθητο«) ρευστό. «Ανεπαίσθητα« θεωρούνταν τα ρευστά, τα οποία μπορούσαν να εισχωρούν στα υλικά σώματα και να καταλαμβάνουν τον κενό χώρο μεταξύ των σωματιδίων της ύλης. Επιπλέον, ήταν αβαρείς φορείς διαφόρων ιδιοτήτων (ηλεκτρισμού, μαγνητισμού, θερμότητας κτλ.), δηλαδή δε διέθεταν μάζα - μια από τις θεμελιώδεις ιδιότητες της ύλης. Τα ρευστά αυτά επινοήθηκαν, για να εξηγήσουν φαινόμενα· προτάθηκαν, δηλαδή, ως εξηγητικές έννοιες και, ενώ εξασφάλιζαν ερμηνείες με βάση μηχανικές αρχές, τα ίδια δεν αποτελούνταν από ύλη, αλλά ήταν φορείς που «κουβαλούσαν» διάφορα χαρακτηριστικά.

Ο Βρετανός φυσικός T. Young (Γιανγκ, 1773-1829) διατύπωσε την κυματική θεωρία μεταξύ του 1799 και του 1804, εγκαταλείποντας τόσο την ιδέα ότι το φως είναι ένα αβαρές ρευστό όσο και τη νευτώνεια σωματιδιακή θεωρία του φωτός. Πυρήνας αυτής της θεωρίας ήταν η έννοια του «φωτοφόρου» αιθέρα, του μέσου στο οποίο διαδίδεται το φως. Το φως, σύμφωνα με τον Young, ήταν ένα κυματικό φαινόμενο, όπως ο ήχος. Δηλαδή, επρόκειτο για μια διαταραχή που ταξιδεύει στο χώρο. Η διάδοση μιας διαταραχής στο χώρο προϋπέθετε την ύπαρξη κάποιου μέσου. Ήταν γνωστό, για παράδειγμα, ότι ο ήχος δε διαδίδεται στο κενό. Η υπόθεση του αιθέρα προτάθηκε, για να καταστήσει κατανοητό το φως ως κυματικό φαινόμενο. Η αναπαράσταση του φωτός ως κύματος ήταν σε θέση να εξηγήσει το φαινόμενο της συμβολής του φωτός.

Η κυματική οπτική αναπτύχθηκε, επίσης, από το Γάλλο φυσικό A.J. Fresnel (Φρενέλ, 1788-1827). Ο Fresnel ήταν αντίθετος, όπως και ο Young, στην αναπαράσταση του φωτός ως αβαρούς ρευστού, καθώς και στη σωματιδιακή θεωρία του φωτός, κύριος εκφραστής της οποίας ήταν ο Laplace. Ο Fresnel θεωρούσε ότι το φως είναι ένα κυματικό φαινόμενο στον αιθέρα και διατύπωσε, έως το 1821, μια κυματική οπτική. Ο στόχος του δεν περιοριζόταν στην οπτική και περιελάμβανε την ενοποίηση της φυσικής με βάση τον αιθέρα. Όλα τα φαινόμενα, στο πλαίσιο αυτού του ενοποιητικού, μηχανιστικού προγράμματος, θα ερμηνεύονταν ως αποτέλεσμα των μηχανικών χαρακτηριστικών του αιθέρα.


Augustin Fresnel (1788-1827)

Για μεγάλο διάστημα, τουλάχιστον έως το 1815, ο Fresnel αγνοούσε τη θεωρία του Young. Εκείνη την περίοδο ερμήνευσε το φαινόμενο της

περίθλασης του φωτός χρησιμοποιώντας την κυματική υπόστασή του και άρα το φαινόμενο της συμβολής. Η ερμηνεία αυτή επαληθεύθηκε πειραματικά και αποτέλεσε μια σημαντική ένδειξη για την ορθότητα της κυματικής θεωρίας του φωτός.

Η ερμηνεία αυτή, όμως, δεν ήταν η μοναδική. Ο J.B. Biot (Μπιό, 1774-1862), που υποστήριζε τη σωματιδιακή θεωρία, πρότεινε μια σωματιδιακή εξήγηση του φαινομένου της περίθλασης. Η κοινότητα των Γάλλων φυσικών άρχισε να κλίνει προς το μέρος της κυματικής θεωρίας το 1819, όταν ο Fresnel υπέβαλε μια εργασία στην Ακαδημία Επιστημών, στο πλαίσιο ενός διαγωνισμού. Η εργασία αυτή περιείχε μια ακριβή μαθηματική ανάλυση της περίθλασης και κέρδισε το σχετικό βραβείο. Η ανάλυση του Fresnel οδήγησε σε μια «παράξενη» πρόβλεψη, η οποία στη συνέχεια επιβεβαιώθηκε πειραματικά: στο κέντρο της σκιάς ενός μικρού δίσκου που φωτίζεται θα υπάρχει μια φωτεινή κηλίδα. Αν και έχει αμφισβητηθεί ότι αυτή η πρόβλεψη και μόνο οδήγησε στην εδραίωση της κυματικής θεωρίας του φωτός, η σημασία της ήταν μεγάλη, διότι η σωματιδιακή θεωρία δεν ήταν σε θέση να την αναπαραγάγει.

Το έργο των Young και Fresnel, αντικαθιστώντας την έννοια του φωτός ως *ουσίας* με την έννοια του φωτός ως *κίνησης* ενός μηχανικού μέσου (του αιθέρα), έδωσε νέα ώθηση στη μηχανιστική θεώρηση της φύσης και συνέβαλε στην επικράτηση μιας «κινητικής» κοσμοθεωρίας. Ένας παρόμοιος εξηγητικός μηχανισμός, με βάση την κίνηση και τις ιδιότητες του αιθέρα, επρόκειτο να παίξει καθοριστικό ρόλο και στην ερμηνεία των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων.

2 Η ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ

Στο δεύτερο μισό του 18ου αι. οι νόμοι που διέπουν τις δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων, καθώς και μεταξύ μαγνητών, προσδιορίστηκαν ύστερα από εκτεταμένες πειραματικές και θεωρητικές μελέτες. Η σύλληψη και η διατύπωση αυτών των νόμων επιτεύχθηκε στο πλαίσιο ενός νευτώνειου προγράμματος εξήγησης των ηλεκτρικών και των μαγνητικών φαινομένων βάσει κεντρικών δυνάμεων, δηλαδή δυνάμεων των οποίων η διεύθυνση συμπίπτει με την ευθεία που ενώνει τα κέντρα των ηλεκτρικά φορτισμένων σωματιδίων μεταξύ των οποίων ασκούνται. Το πρόγραμμα αυτό ήταν αποτέλεσμα της μεγάλης επιτυχίας της νευτώνειας θεωρίας στην εξήγηση και την πρόβλεψη των κινήσεων των ουράνιων σωμάτων. Οι έρευνες του Γάλλου στρατιωτικού μηχανικού C.-A. de Coulomb (Κουλόμπ, 1736-1806), μεταξύ άλλων, έδειξαν ότι οι ηλεκτρικές δυνάμεις μπορούσαν να περιγραφούν με την ίδια μαθηματική εξίσωση που ίσχυε για το νόμο της βαρύτητας. Ο νόμος που εκφράζει τις δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων λέγεται «νόμος του Coulomb». Η μαθη-

ματική έκφραση του νόμου για τις δυνάμεις μεταξύ μαγνητών προέκυψε επίσης από την πειραματική δουλειά του Coulomb (1785).



Charles-Augustin Coulomb (1736-1806)

Η επιτυχία αυτή του Coulomb δικαίωσε τη μηχανιστική προσέγγιση του ηλεκτρισμού. Βασική έννοια αυτής της προσέγγισης ήταν και εδώ η έννοια των αβαρών ρευστών η οποία είχε ήδη χρησιμοποιηθεί από τα μέσα του 18ου αι. για την κατανόηση των ηλεκτρικών φαινομένων. Τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά ρευστά ήταν φορείς ηλεκτρικών και μαγνητικών ιδιοτήτων, αλλά δεν ήταν συνήθεις υλικές ουσίες, αφού δεν είχαν μάζα. Τα σωματίδια που τα αποτελούσαν απωθούνταν μεταξύ τους, ενώ έλκονταν με τα σωματίδια της ύλης. Αυτές οι ελκτικές και απωστικές δυνάμεις αποτελούσαν την πηγή των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων. Σε ό,τι αφορά τον ηλεκτρισμό, μια από τις πιο διαδεδομένες θεωρίες ήταν του Αμερικανού πολιτικού και ερευνητή B. Franklin (Φράνκλιν, 1706-1790). Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, ο ηλεκτρισμός αποτελούνταν από ένα μοναδικό ρευστό και η φόρτιση ενός σώματος ήταν αποτέλεσμα της απώλειας ή της απόκτησης ηλεκτρικού ρευστού (θετική και αρνητική φόρτιση αντίστοιχα).



Benjamin Franklin (1706-1790)

Μετά το 1799 η επινόηση της μπαταρίας από τον A. Volta (Βόλτα, 1745-1827) υπονόμευσε σταδιακά τη σύλληψη του ηλεκτρισμού ως ρευστού. Η μπαταρία παρείχε έναν εύκολο τρόπο παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και χρησιμοποιήθηκε, σχεδόν αμέσως μετά την επινόησή της, για την αποσύνθεση του νερού σε υδρογόνο και σε οξυγόνο (ηλεκτρόλυση). Η διαφαινόμενη σύνδεση ηλεκτρικών και χημικών φαινομένων ώθησε τον H. Davy (Ντέιβυ, 1778-1829) να εγκαταλείψει την ιδέα του ηλεκτρικού ρευστού και να διατυπώσει μια θεωρία περί ηλεκτρισμού, που βασιζόταν στην έννοια της χημικής συγγένειας. Η στενή σχέση ηλεκτρισμού και χημείας ήταν για τον Davy μια σοβαρή ένδειξη ότι οι ηλεκτρικές και οι χημικές δυνάμεις αποτελούσαν ένα ενιαίο φαινόμενο.

2.1 Η ανακάλυψη του ηλεκτρομαγνητισμού και το έργο του Michael Faraday

Έως το 1820 ο ηλεκτρισμός και ο μαγνητισμός θεωρούνταν δύο διαφορετικές κατηγορίες φαινομένων. Η άποψη αυτή αμφισβητήθηκε μετά την ανακάλυψη του ηλεκτρομαγνητισμού από το Δανό φυσικό H.C. Oersted (Έρστεντ, 1777-1851). Ο Oersted παρατήρησε ότι ένα ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί απόκλιση της μαγνητικής βελόνας. Αυτό το φαινόμενο επιβεβαίωσε την πεποίθησή του για την ενότητα των φυσικών δυνάμεων, πεποίθηση που είχε αντλήσει από τη γερμανική φιλοσοφία της φύσης. Η ιδέα περί ενότητας της φύσης ήταν ιδιαίτερα δημοφιλής στις αρχές του 19ου αι. και προερχόταν από ένα γερμανικό φιλοσοφικό ρεύμα, τη λεγόμενη *naturphilosophie* (φιλοσοφία της φύσης). Υπό την επίδραση αυτού του ρεύματος πολλοί επιστήμονες επιχείρησαν να ανακαλύψουν τις συνδέσεις διαφορετικών φαινομένων και να διατυπώσουν ενοποιητικές θεωρίες. Αυτή η τάση ήταν ιδιαίτερα έντονη στη διερεύνηση των ηλεκτρικών και των μαγνητικών φαινομένων. Σύμφωνα με τις παρατηρήσεις του Oersted, η απόκλιση της μαγνητικής βελόνας, όταν τοποθετούνταν πάνω από το ρευματοφόρο αγωγό, και η απόκλισή της όταν τοποθετούνταν κάτω από το ρευματοφόρο αγωγό, είχαν αντίθετη φορά.

Με αφορμή την ανακάλυψη του Oersted ξεκίνησαν και άλλες έρευνες, που είχαν στόχο να βρουν παρόμοια ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα. Το 1820 στο Παρίσι ο A.M. Ampère (Αμπέρ, 1775-1836) έδειξε ότι, εάν ένα ηλεκτρικό ρεύμα διαπερνούσε ένα πηνίο από σύρμα, το πηνίο δρούσε σαν να ήταν μαγνήτης. Ο Ampère υποστήριξε ότι ο μαγνητισμός θα μπορούσε να αναχθεί στον ηλεκτρισμό. Αφού ένα ηλεκτρικό ρεύμα έχει μαγνητικές ιδιότητες, θα μπορούσε κανείς να υποθέσει ότι ένας μαγνήτης αποτελείται από πολλά στοιχειώδη μοριακά ρεύματα, δηλαδή μικροσκοπικά φορτία, τα οποία διαγράφουν κλειστές κυκλικές τροχιές. Επίσης, ο Ampère διατύπωσε μια σχέση για τη δύναμη που ασκείται μεταξύ δύο ρευμάτων.

Την επόμενη χρονιά, το 1821, ο M. Faraday (1791-1867), με αφετηρία την ανακάλυψη του Oersted άρχισε να μελετά τις πρόσφατες εξελίξεις στον ηλεκτρομαγνητισμό. Ο Faraday δεν περιορίστηκε στη μελέτη των αποτελεσμάτων που είχαν ήδη προκύψει, αλλά έκανε και δικά του πειράματα, που οδήγησαν, το Σεπτέμβριο του 1821, στην ανακάλυψη του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής περιστροφής. Οι παρατηρήσεις του Faraday έδειχναν ότι ένα ρευματοφόρο καλώδιο ασκεί δυνάμεις κυκλικού χαρακτήρα σ' ένα μαγνήτη που βρίσκεται υπό την επίδρασή του. Δηλαδή, ο μαγνήτης τείνει να περιστραφεί γύρω από το καλώδιο. Θεωρώντας ότι πρέπει να ισχύει και το αντίστροφο, δηλαδή ότι η δύναμη που ασκείται από ένα μαγνήτη σ' ένα καλώδιο είναι επίσης κυκλική, κατασκεύασε μια διάταξη, στην οποία ένα ρευματοφό-

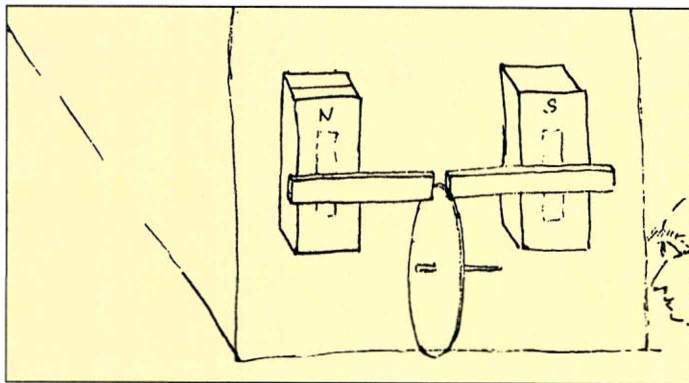
ρο καλώδιο περιστρεφόταν γύρω από ένα σταθερό μαγνήτη.

Αυτή η ανακάλυψη αποτέλεσε την αρχή λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών. Πέρα όμως από την πρακτική σημασία της αυτή είχε και σημαντικές θεωρητικές προεκτάσεις. Παρείχε μια πρώτη ένδειξη ότι τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα θα ήταν δύσκολο να ενταχθούν στη νευτώνεια παράδοση.

Δέκα χρόνια αργότερα, το 1831, ο Faraday ανακάλυψε ένα άλλο φαινόμενο, την ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Στην πειραματική διάταξη που σχεδίασε, δύο σύρματα είναι τυλιγμένα γύρω από ένα σιδερένιο δακτύλιο σε διαμετρικά αντίθετες θέσεις. Το ένα σύρμα (*πρωτεύον*) συνδέεται, μέσω ενός διακόπτη, με μια μπαταρία. Κοντά στο άλλο (*δευτερεύον*) είναι τοποθετημένη μια μαγνητική βελόνα. Ο Faraday παρατήρησε ότι το κλείσιμο του διακόπτη και η δίοδος ηλεκτρικού ρεύματος στο ένα σύρμα συνοδευόταν από τη στιγμιαία εμφάνιση ρεύματος στο άλλο σύρμα, όπως φαινόταν από τη στιγμιαία κίνηση της βελόνας. Το ίδιο συνέβαινε και με το άνοιγμα του διακόπτη και τη διακοπή του ρεύματος στο πρώτο σύρμα. Πάνω στο φαινόμενο αυτό στηρίζεται η λειτουργία των μετασχηματιστών.

Ένα παρόμοιο φαινόμενο, όπως παρατήρησε ο Faraday, εμφανίζεται, όταν ένας μαγνήτης πλησιάζει σ' ένα πηνίο. Δηλαδή «επάγεται» ένα ρεύμα στο πηνίο. Επίσης, παρατηρείται και το «αντίστροφο» φαινόμενο. Η κίνηση ενός αγωγού στην περιοχή που βρίσκεται ένας μαγνήτης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Στο πείραμα του Faraday η περιστροφή ενός χάλκινου δίσκου ανάμεσα στους πόλους ενός μαγνήτη συνοδευόταν από την εμφάνιση ενός ρεύματος στο δίσκο, την οποία παρατηρούσε με τη βοήθεια ενός γαλβανόμετρου. Αξίζει σε αυτό το σημείο να τονιστεί η δυσκολία αυτών των πειραμάτων. Αν και εκ των υστέρων φαίνονται εύκολα, ήταν προϊόν επίπονων ερευνών, καθώς είχαν προηγηθεί πολλές άκαρπες προσπάθειες.

Η τεχνολογική σημασία του φαινομένου της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής επρόκειτο να αποδειχθεί τεράστια, γιατί αποτέλεσε τη βάση για την κατασκευή ηλεκτρικών γεννητριών. Με τη χρήση μιας ατμομηχανής για να κινεί τη γεννήτρια γινόταν δυνατή η πα-



Σχέδιο του Faraday: Η περιστροφή του δίσκου ανάμεσα στους πόλους του μαγνήτη προκαλεί την εμφάνιση ενός ρεύματος στο δίσκο.

ραγωγή ηλεκτρισμού. Ο Faraday δεν ενδιαφερόταν ιδιαίτερα για τις τεχνολογικές εφαρμογές των ερευνών, αν και είχε επίγνωση της πρακτικής σημασίας τους. Έτσι, ο ηλεκτρικός κινητήρας και η γεννήτρια εξελίχθηκαν από άλλους. Χρειάστηκαν γύρω στα 50 χρόνια, για να σημειωθούν σημαντικές εξελίξεις στον τομέα αυτό.

2.2 Ο Faraday και η ανάδυση της έννοιας του πεδίου

Για να αναπαραστήσει γεωμετρικά τη μετάδοση των ηλεκτρικών δυνάμεων, ο Faraday εισήγαγε την έννοια των «δυναμικών γραμμών». Κατά τη δεκαετία του 1830 πίστευε ότι οι γραμμές αυτές συμπίπτουν με τις γραμμές που σχηματίζουν τα σωματίδια του «διηλεκτρικού», του μονωτικού μέσου που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο φορτισμένων σωμάτων, κάτω από την επίδραση των ηλεκτρικών δυνάμεων. Αν και από τότε απέρριπτε τις δράσεις από μεγάλες αποστάσεις, θεωρούσε ότι η ηλεκτρική αλληλεπίδραση των σωματιδίων ενός μέσου δε λαμβάνει χώρα εξ επαφής αλλά εξ αποστάσεως. Βέβαια, οι αποστάσεις για τις οποίες μιλάμε ήταν πολύ μικρές (περίπου 1 εκ.). Το πώς μεταδιδόταν μια δύναμη μεταξύ δύο γειτονικών σωματιδίων ο Faraday δεν ήταν σε θέση να το εξηγήσει.

Το 1844, για να καλύψει αυτό το κενό, διατύπωσε μια αντιατομική θεωρία της ύλης. Ο λόγος για την απόρριψη του ατομισμού ήταν ο εξής: τα άτομα, σύμφωνα με την ατομική θεωρία, δε βρίσκονταν σε επαφή μεταξύ τους και, επομένως, ο ενδιάμεσος χώρος έπρεπε να παίζει κάποιο ρόλο στη μετάδοση μιας δύναμης από ένα άτομο σε ένα άλλο. Όμως, σύμφωνα με τον Faraday, ο χώρος δεν μπορεί να αποτελεί την αιτία για τη δημιουργία φυσικών φαινομένων: για να χρησιμοποιήσουμε τα λόγια του, «ο απλός χώρος δεν μπορεί να δράσει, όπως δρα η ύλη».

Προς αντικατάσταση της ατομικής θεωρίας ο Faraday πρότεινε ότι η ύλη αποτελείται από μια συνεχή κατανομή δυνάμεων, που εκτείνονται σε όλο το χώρο. Τα σωματίδια που την αποτελούν αναπαρίστανται ως «κέντρα δυνάμεων» στο χώρο. Η ύλη, σύμφωνα με αυτή την άποψη, δεν αποτελείται από αδιαπέραστες και αδιαίρετες οντότητες· επομένως είναι δυνατόν μια υλική ουσία να διαπερνά μια άλλη. Αυτή η θεώρηση της ύλης μπορούσε να εξηγήσει πώς μεταδίδεται μια δύναμη από το ένα σωματίδιο στο άλλο, αφού «η ύλη θα είναι καθ' ολοκληρίαν συνεχής· θεωρώντας ένα σώμα δεν είμαστε υποχρεωμένοι να υποθέσουμε ότι υπάρχει διάκριση μεταξύ των ατόμων του και του χώρου που παρεμβάλλεται ανάμεσά τους».

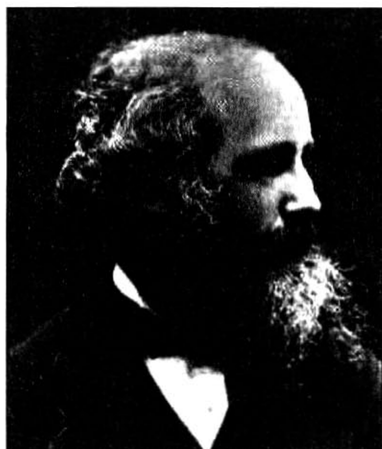
Η έννοια των δυναμικών γραμμών απέκτησε άμεσο εμπειρικό περιεχόμενο μέσω των μαγνητικών φαινομένων. Εάν σκορπίσουμε ρινίσματα σιδήρου πάνω από ένα μαγνήτη σχηματίζονται κάποιες μορφές. Οι μορφές αυτές αντιστοιχούν στις μαγνη-

τικές δυναμικές γραμμές, που με αυτό τον τρόπο γίνονται ορατές. Από το 1852 και μετά ο Faraday πίστευε ότι οι δυναμικές γραμμές είναι υπαρκτές οντότητες και όχι κάποιες αναπαραστάσεις της πραγματικότητας.

Οι πλευρές του έργου του Faraday που έχουμε εξετάσει ως τώρα αφορούσαν φαινόμενα στα οποία μια φυσική «δύναμη», π.χ. ο ηλεκτρισμός, μετατρέπεται σε μια άλλη, π.χ. στο μαγνητισμό. Αυτό δεν αποτελεί σύμπτωση, καθώς η ιδέα της ενότητας και της μετατροπής των φυσικών δυνάμεων έπαιξε καθοριστικό ρόλο στις έρευνες του Faraday. Στη δεκαετία του 1830, για παράδειγμα, έκανε μια σειρά πειραμάτων με στόχο τη διερεύνηση της σχέσης ηλεκτρικών και χημικών φαινομένων, θεωρώντας ότι η προδιάθεση που έχουν μερικές ουσίες να ενωθούν με κάποιες άλλες έχει ηλεκτρική προέλευση. Ο Faraday πίστευε ότι η αλληλεξάρτηση των φυσικών δυνάμεων ήταν αποτέλεσμα της διατήρησής τους. Οι φυσικές δυνάμεις δεν ήταν δυνατόν ούτε να καταστραφούν ούτε να δημιουργηθούν εκ του μηδενός, και η φαινομενική εξαφάνιση μιας δύναμης συνοδευόταν πάντα από την εμφάνιση μίας άλλης. Δηλαδή, τα φαινόμενα εξαφάνισης και δημιουργίας φυσικών δυνάμεων ήταν φαινόμενα μετατροπής μιας δύναμης σε μια άλλη. Όπως αναφέρει χαρακτηριστικά το 1845 σε ένα άρθρο για τη δράση του μαγνητισμού στο φως, «οι διάφορες μορφές με τις οποίες εκδηλώνονται οι δυνάμεις της ύλης έχουν μια κοινή προέλευση· ή, με άλλα λόγια, σχετίζονται τόσο άμεσα και είναι τόσο αμοιβαία εξαρτημένες, που είναι μετατρέψιμες ... η μία στην άλλη».

Την ίδια χρονιά εισήγαγε τον όρο «μαγνητικό πεδίο». Το πεδίο θα μπορούσε να ερμηνευτεί με δύο τρόπους: 1) ως πεδίο δυνάμεων, δηλαδή ως ένας αυθύπαρκτος φορέας, μέσω του οποίου μεταδίδονται οι δυνάμεις μεταξύ των σωμάτων, 2) ως ιδιότητα ενός μέσου, του αιθέρα, που διαπερνά όλο το χώρο. Το μέσο αυτό θα μπορούσε να είναι συνεχές ή να αποτελείται από διακριτά σωματίδια. Έως τα μέσα της δεκαετίας του 1840 ο Faraday υιοθετούσε τη δεύτερη ερμηνεία. Οι ηλεκτρομαγνητικές δράσεις μεταδίδονταν μέσω των σωματιδίων που αποτελούσαν το «διηλεκτρικό μέσο». Στη συνέχεια υιοθέτησε μια άποψη του πεδίου, ως αυθύπαρκτης οντότητας, και εξήγησε τη μετάδοση των δυνάμεων με βάση την έννοια των δυναμικών γραμμών.

Και στις δύο αυτές εκδοχές του πεδίου ο ακριβής μηχανισμός μετάδοσης των δυνάμεων, η διατύπωση, δηλαδή, του νόμου της μετάδοσης των ηλεκτρικών και των μαγνητικών δυνάμεων δεν είχε ακόμη προσδιοριστεί. Αυτόν ακριβώς το μηχανισμό, τη μετάδοση των δυνάμεων, επιχείρησε να εξηγήσει ο Maxwell, δημιουργώντας διάφορα μηχανικά μοντέλα του αιθέρα.



James Clerk Maxwell (1831-1879)

2.3 Η σύνθεση του Maxwell

Το έργο του Faraday συνεχίστηκε από τον J.C. Maxwell (1831-1879). Οι προσπάθειες του Maxwell στόχευαν στη μαθηματικοποίηση των ιδεών του Faraday και στη δημιουργία ενός μοντέλου του αιθέρα, που θα ήταν σε θέση να εξηγήσει τη μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων. Στις δεκαετίες του 1850 και του 1860 ο Maxwell δημιουργεί μια μαθηματικά διατυπωμένη θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων, σύμφωνα με την οποία τα φαινόμενα αυτά προκύπτουν από τις κινήσεις υλικών σωματιδίων και μεταδίδονται μέσω του αιθέρα. Ο αιθέρας, σύμφωνα με τον Maxwell, αποτελούνταν επίσης από σωματίδια, που ήταν οι ενδιάμεσοι φορείς για τη μετάδοση των δυνάμεων.

Η πρώτη εργασία του για το πεδίο είχε τίτλο «On Faraday's lines of force» [Περί των δυναμικών γραμμών του Faraday, 1856]. Η έννοια των δυναμικών γραμμών τον κίνησε το ενδιαφέρον λόγω της γεωμετρικής υφής της. Ο Maxwell, που ενδιαφερόταν ιδιαίτερα για τη γεωμετρία, θεωρούσε ότι αυτή η έννοια θα μπορούσε να εκφράσει γεωμετρικά την κατανομή των ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων στο χώρο. Οι δυναμικές γραμμές, στην εργασία του 1856, αντιπροσωπεύουν τις διευθύνσεις αυτών των δυνάμεων. Παρά το ότι είχε υιοθετήσει την ιδέα του Faraday περί δυναμικών γραμμών, απέρριψε τη φυσική ερμηνεία που τους είχε προσδώσει ο Faraday. Η έννοια των δυναμικών γραμμών, σύμφωνα με το Maxwell, είχε γεωμετρική και όχι φυσική σημασία.

Στην επόμενη εργασία του για το πεδίο «On physical lines of force» [Περί των φυσικών δυναμικών γραμμών, 1861-62] επιχείρησε μια μηχανιστική ερμηνεία του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, βάσει ενός μηχανικού μοντέλου του αιθέρα. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό ο αιθέρας ήταν ένα ρευστό, το οποίο αποτελούνταν από περιστρεφόμενους στροβίλους. Η περιστροφή γειτονικών στροβίλων με την ίδια φορά ήταν δυνατή, διότι μεταξύ τους παρεμβάλλονταν σφαιρικά σωματίδια, που λειτουργούσαν ως ενδιάμεσοι τροχοί κίνησης. Η περιστροφή των στροβίλων αντιστοιχούσε στην ύπαρξη ενός μαγνητικού πεδίου, του οποίου η ένταση εξαρτιόταν από τη γωνιακή ταχύτητα των στροβίλων. Εάν το μαγνητικό πεδίο ήταν ανομοιογενές, δηλαδή εάν οι γειτονικοί στρόβιλοι είχαν διαφορετικές γωνιακές ταχύτητες, αυτό θα προσέδιδε στους ενδιάμεσους τροχούς κίνησης μια μεταφορική κίνηση, δηλαδή θα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ηλεκτρικού ρεύματος.

Στο Maxwell ήταν σαφές ότι αυτό το μηχανικό μοντέλο του αιθέρα ήταν μια χρήσιμη υπόθεση, που παρείχε μια μηχανιστική εξήγηση του πεδίου, χωρίς να θεωρεί ότι ανταποκρίνεται στη φυσική πραγματικότητα. Με βάση αυτό το μοντέλο ο Maxwell υπολόγισε την ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών διαταραχών. Το αποτέλεσμα αυτού του υπολογισμού ήταν ότι η ταχύτητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων συνέπιπτε με την ταχύτητα του φωτός, την οποία είχε μετρήσει με ακρίβεια ο H. Fizeau το 1849. Αυτή η σύμπτωση οδήγησε το Maxwell στο συμπέρασμα *«ότι το φως αποτελείται από τους εγκάρσιους κυματισμούς του ίδιου μέσου που είναι η αιτία των ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων»* (Maxwell, 1862). Βλέπουμε, λοιπόν, ότι μέσω μιας υπόθεσης για τη δομή του αιθέρα ο Maxwell πέτυχε την ενοποίηση των οπτικών και των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων. Αυτή η επιτυχία ενίσχυσε την πεποίθησή του στην ύπαρξη του αιθέρα, τον οποίο θεωρούσε ως την καλύτερα επιβεβαιωμένη οντότητα της φυσικής φιλοσοφίας!

Στην επόμενη εργασία του για το πεδίο «A dynamical theory of the electromagnetic field» [Μια δυναμική θεωρία του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, 1865] απέφυγε τη διατύπωση ενός συγκεκριμένου μηχανικού μοντέλου του αιθέρα, θεωρώντας απλώς ότι ο αιθέρας είναι ένα μέσο που διαθέτει ενέργεια, κινητική και δυναμική. Η κινητική ενέργεια του αιθέρα αντιστοιχούσε στην ενέργεια του μαγνητικού πεδίου, ενώ η δυναμική ενέργειά του αντιστοιχούσε στην ενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου. Η θεωρία του Maxwell ήταν «μια θεωρία του *ηλεκτρομαγνητικού* πεδίου, διότι έχει να κάνει με το χώρο στη «γειτονιά» των ηλεκτρικών και μαγνητικών σωμάτων». Εξακολουθούσε να είναι μια μηχανιστική θεωρία, διότι βασιζόταν στην ιδέα ότι η κίνηση υλικών σωματιδίων μέσα στον αιθέρα ήταν η πηγή των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων.

Το έργο του Maxwell αντιπροσωπεύει και τις τρεις κυρίαρχες τάσεις στην επιστήμη του 19ου αιώνα: τη μαθηματικοποίηση των φυσικών θεωριών, την ενοποίηση διαφορετικών περιοχών της φυσικής και τη μηχανιστική ερμηνεία των φυσικών φαινομένων. Η μαθηματικοποίηση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας φτάνει στο απόγειό της, όταν οι θεωρητικές έρευνες του Maxwell καταλήγουν στη διατύπωση τεσσάρων εξισώσεων, που διέπουν τις ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις. Οι εξισώσεις αυτές ενοποιούν τα ηλεκτρικά, τα μαγνητικά και τα οπτικά φαινόμενα. Αντιπροσωπεύουν μια σύνθεση των γνώσεων που είχαν συσσωρευτεί έως τότε για όλες αυτές τις κατηγορίες φαινομένων, μια σύνθεση της οποίας η σημασία στην ιστορία της επιστήμης είναι αντίστοιχη με τη σημασία της νευτώνειας σύνθεσης στο τέλος του 17ου αιώνα.

Η σύνθεση του Maxwell οδήγησε στην πρόβλεψη ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδονται στον αιθέρα με την ταχύτητα του φωτός. Το 1888 ο Γερμανός φυσικός Heinrich Hertz (Χερτς, 1857-1894) ανακαλύπτει πειραματικά τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και επιβεβαιώνει με αυτό τον τρόπο τη θεωρία του Maxwell. Στην

Ηπειρωτική Ευρώπη, έως την ανακάλυψη του Hertz, ανθούσαν διάφορες ηλεκτρομαγνητικές θεωρίες, που περιέγραφαν τις ηλεκτρικές και μαγνητικές δυνάμεις ως δυνάμεις που δρουν ακαριαία εξ αποστάσεως, χωρίς τη μεσολάβηση του πεδίου. Τα πειράματα του Hertz συνετέλεσαν στην εγκατάλειψη αυτών των θεωριών και στην εδραίωση της έννοιας του πεδίου. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι η ανακάλυψή του είχε τεράστια τεχνολογική σημασία, γιατί οδήγησε στην κατασκευή του ασύρματου τηλέγραφου και στην ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών.

Η τρίτη τάση στην φυσική του 19ου αι., η μηχανιστική θεώρηση των φυσικών φαινομένων, επίσης αντανακλάται στο έργο του Maxwell. Η ενέργεια του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου ήταν, σύμφωνα με το Maxwell, η μηχανική ενέργεια του αιθέρα. Η έννοια της ενέργειας, δηλαδή, έδωσε τη δυνατότητα για μια μηχανιστική εξήγηση των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων. Η έννοια αυτή πήρε τη μορφή που ξέρουμε σήμερα και διαχωρίστηκε σαφώς σε κινητική και σε δυναμική, στα μέσα του 19ου αιώνα. Η ιστορική διαδρομή, που οδήγησε στη διατύπωση της έννοιας της ενέργειας, καθώς και στην αρχή της διατήρησής της, αποτελούν το θέμα της επόμενης ενότητας.

3 Η ΑΡΧΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

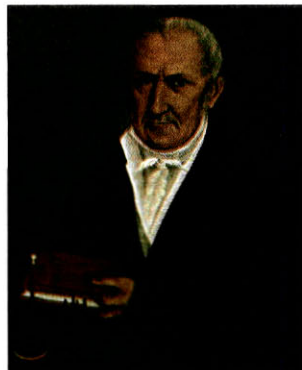
3.1 Οι προϋποθέσεις

Η αρχή της διατήρησης της ενέργειας διατυπώθηκε στο δεύτερο τέταρτο του 19ου αι. από τέσσερις επιστήμονες που εργάζονταν ανεξάρτητα ο ένας από τον άλλο, τους J. P. Joule, L. A. Golding, J. R. Mayer και H. Helmoltz. Τουλάχιστον άλλοι οκτώ έφτασαν πολύ κοντά στην αρχή της διατήρηση της ενέργειας, υποστηρίζοντας είτε την ισοδυναμία θερμότητας και «μηχανικής δύναμης» (S. Carnot, M. Seguin, K. Holtzmann, G. A. Hirn) είτε την ενότητα όλων των φυσικών δυνάμεων (C. F. Mohr, W. Grove, M. Faraday, J. Liebig).

Ο Thomas Kuhn αποδίδει αυτή την ταυτόχρονη ανακάλυψη σε τρεις παράγοντες: στη διερεύνηση των διαδικασιών μετατροπής των «φυσικών δυνάμεων», στη μελέτη των μηχανών και στη γερμανική φιλοσοφία της φύσης (*naturphilosophie*). Άλλοι ιστορικοί έδωσαν βαρύτητα σε διαφορετικούς παράγοντες, όπως για παράδειγμα στην παράδοση της διατήρησης της *vis-viva* ή στη συνειδητοποίηση ότι είναι αδύνατο να κατασκευαστεί ένα αεικίνητο. Θα εξετάσουμε αναλυτικά ορισμένους από αυτούς τους παράγοντες.

3.1.1 Αλληλομετατροπές των «φυσικών δυνάμεων»

Στο πρώτο μισό του 19ου αι. πραγματοποιήθηκαν μια σειρά από ανακαλύψεις οι οποίες συνέδεαν περιοχές της επιστήμης που έως τότε θεωρούνταν άσχετες μεταξύ τους. Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα, οι Oersted, Ampere και Faraday ανακάλυψαν μια σειρά φαινομένων που συνέδεαν τον ηλεκτρισμό, το μαγνητισμό και τη μηχανική. Σύμφωνα με την ανακάλυψη του Oersted, ένα ηλεκτρικό ρεύμα μπορούσε να δημιουργήσει μαγνητισμό και αυτός να παραγάγει κίνηση, η οποία, όπως ήταν γνωστό, μπορούσε να παραγάγει ξανά ηλεκτρισμό με την τριβή. Στο φαινόμενο της επαγωγής, που ανακάλυψε ο Faraday, η κίνηση ενός μαγνήτη μπορούσε να δημιουργήσει ηλεκτρικό ρεύμα. Επίσης, η επινόηση της μπαταρίας από το Volta και το φαινόμενο της ηλεκτρόλυσης έδειξαν τη συνάφεια ηλεκτρισμού και χημείας. Στην ηλεκτρική στήλη που κατασκευάστηκε από το Volta χημικές διαδικασίες μπορούσαν να δημιουργήσουν ηλεκτρικό ρεύμα, ενώ αντίστροφα στη συσκευή ηλεκτρόλυσης το ηλεκτρικό ρεύμα μπορούσε να προκαλέσει χημικά φαινόμενα. Γνωστή από το 18ο αι. ήταν και η δυνατότητα της θερμότητας να παράγει κίνηση (π.χ. στην ατμομηχανή), ενώ η κίνηση μπορούσε με την τριβή να δημιουργήσει θερμότητα.



Alessandro Volta (1745-1827)

Τα φαινόμενα αυτά εξηγήθηκαν από αρκετούς ερευνητές με μια ασαφή θεωρία περί αλληλομετατροπής των «φυσικών δυνάμεων», ενώ ορισμένοι υποστήριξαν και την ενότητα αυτών των «φυσικών δυνάμεων». Ο Γερμανός C. F. Mohr, για παράδειγμα, γράφει το 1839: «Πλάι στα 54 χημικά στοιχεία, υπάρχει στη φύση μόνο ένας ενεργός παράγοντας και αυτός ονομάζεται δύναμη. Σε διάφορες περιστάσεις μπορεί να εμφανισθεί ως κίνηση, χημική συγγένεια, συνοχή, ηλεκτρισμός, φως, θερμότητα και μαγνητισμός. Από τον καθένα από αυτούς τους τύπους φαινομένων όλοι οι άλλοι μπορούν να παραχθούν».

Τι ακριβώς ήταν αυτή η «φυσική δύναμη» δεν ήταν καθόλου σαφές. Στις περισσότερες περιπτώσεις συγχεόταν με τη γνωστή νευτώνεια δύναμη εξ αποστάσεως. Η έννοια της «δύναμης« άρχισε να πλησιάζει τη σημερινή έννοια της «ενέργειας» μόνο στα μέσα του 19ου αι., ως αποτέλεσμα της δουλειάς του H. von Helmoltz (Χέλμολτς, 1821-1894). Προϋπόθεση, όμως, αυτής της εξέλιξης ήταν η ποσοτική έκφραση των αλληλομετατροπών των «φυσικών δυνάμεων». Αυτό απαιτούσε την ύπαρξη ενός κοινού μέτρου σύγκρισης. Όπως έγραψε ο Άγγλος W. Grove: «Αναφορικά με τις συσχετίσεις των «φυσικών δυνάμεων», το μεγάλο πρόβλημα που παραμένει είναι η καθιέρωση ενός ισοδύναμου της ισχύος τους ή η μετρήσιμη σχέση τους με ένα δεδομένο μέτρο».

Για να ποσοτικοποιηθούν αυτές οι σχέσεις έγιναν πολλές προσπάθειες προς διάφορες κατευθύνσεις. Ο J. R. Mayer (Μάγιερ, 1814-1878), για παράδειγμα, αρχικά μέτρησε τη «δύναμη» με την «ποσότητα της κίνησης» (ορμή) που μπορούσε να παράγει. Ο Mohr πίστεψε ότι ανακάλυψε μια τέτοια ποσοτική σχέση, όταν συνειδητοποίησε ότι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στη θερμική διαστολή ενός σώματος είναι ακριβώς ίσες με τις μηχανικές δυνάμεις που πρέπει να ασκήσουμε, για να ξαναφέρουμε το σώμα στις αρχικές διαστάσεις του. Η λύση στο πρόβλημα αυτό ήλθε τελικά από την παράδοση της μηχανολογίας, όπως θα δούμε αμέσως πιο κάτω.

3.1.2 Μελέτη και μέτρηση των μηχανών

Σε όλο το 18ο αι. παράλληλα με τη θεωρητική μηχανική, αναπτύχθηκε ταχύτατα και μια εξίσου εκλεπτυσμένη «επιστήμη», η μηχανολογία. Κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη της μηχανολογίας ήταν φυσικά η ραγδαία ανάπτυξη των μηχανών τόσο σε ποικιλία όσο και σε ποσότητα. Στο επίκεντρο αυτής της ανάπτυξης βρίσκονταν οι μηχανές ισχύος: αρχικά οι υδροκίνητες μηχανές αλλά κυρίως οι ατμομηχανές.

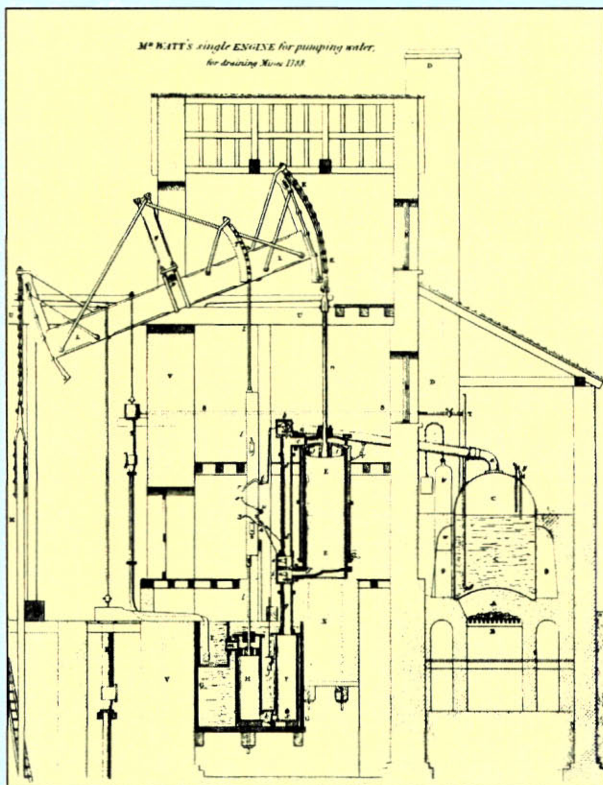
Τα βασικά προβλήματα που αντιμετώπισαν οι μηχανικοί ήταν ο υπολογισμός της οικονομικής απόδοσης των μηχανών και η μέτρηση της ισχύος τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ισχύς μιας μηχανής μετριόταν με το βάρος που μπορούσε να σηκώσει και το ύψος της ανύψωσης. Μηχανικοί όπως ο Desaguliers (Ντεξαγκιλιέ), ο Smeaton ή ο Watt χρησιμοποίησαν το γινόμενο «βάρος επί ύψος», δίνοντάς του διάφορα ονόματα αλλά κυρίως το όνομα «μηχανικό αποτέλεσμα», ως το βασικό μέγεθος για τη μέτρηση των δυνατοτήτων των μηχανών. Το γινόμενο αυτό είχε χρησιμοποιηθεί και σε αρκετές περιπτώσεις στη θεωρητική μηχανική (για να μετρηθεί η *vis-viva*), χωρίς όμως ποτέ να θεωρηθεί τίποτα περισσότερο από μια απλή υπολογιστική τεχνική.

Σε αντίθεση με την Αγγλία, όπου οι μηχανικοί ήταν σχεδόν όλοι εμπειροτέχνες, στη Γαλλία οι ανώτερες κρατικές σχολές, κυρίως οι στρατιωτικές, παρήγαγαν μια σειρά από λαμπρούς μηχανικούς με γερή θεωρητική κατάρτιση. Οι Γάλλοι, προκειμένου να αντιμετωπίσουν την αγγλική βιομηχανική κυριαρχία, προσπαθούσαν να βελτιώσουν τη βιομηχανία τους μέσω μιας καλύτερης κατανόησης των φυσικών αρχών που διέπουν τη λειτουργία των μηχανών. Η προσπάθεια αυτή εντάθηκε μετά τη Γαλλική Επανάσταση (1789). Αποτέλεσμα αυτής της προσπάθειας ήταν μια αλυσίδα από δημοσιεύσεις, που συνέδεσαν τις έννοιες της μηχανολογίας (όπως το «μηχανικό αποτέλεσμα») με τη θεωρητική μηχανική. Μηχανικοί, όπως ο Borda, ο Coulomb, ο Lazare Carnot, ο Poncelet, ο Coriolis κ.ά., εξετάζοντας τις μηχανές σε κίνηση, χρησιμοποίησαν το γινόμενο βάρος επί ύψος (και αργότερα το γινόμενο δύναμη επί με-

τατόπιση) ως βασικό εργαλείο της ανάλυσής τους. Το γινόμενο αυτό έγινε ξεχωριστή έννοια και απόκτησε ξεχωριστό όνομα και μονάδες. Το όνομα που τελικά επικράτησε ήταν «έργο» - στα γαλλικά «travail« που σημαίνει εργασία - πράγμα που εκφράζει τη σημασία του στην οικονομία. Επιπλέον, το «έργο« συνδέθηκε με τις μεταβολές της vis-viva, η οποία μάλιστα διορθώθηκε από τον Coriolis το 1829 σε $^1/_2\, mv^2$ (αντί για mv^2), προκειμένου να γίνει αριθμητικά ίση με το «έργο» που μπορεί να παράγει. Τελικά, μόνο οι ερευνητές που είχαν κάποια σχέση με τη μηχανολογία (όπως, για παράδειγμα, ο Joule και ο Sadi Carnot) μπόρεσαν να χρησιμοποιήσουν τη νέα έννοια στους υπολογισμούς τους.

Η ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΗ

Η πρώτη ατμομηχανή των νεότερων χρόνων κατασκευάστηκε το 1698 από τον Άγγλο στρατιωτικό μηχανικό Τ. Savery, με σκοπό να αντλεί νερό από τα ορυχεία. Το πρόβλημα που αντιμετώπιζαν τα ορυχεία ήταν ότι οι συνήθεις αναρροφητικές αντλίες δεν μπορούσαν να τραβήξουν το νερό, όταν αυτό βρισκόταν σε βάθος μεγαλύτερο από 10 μέτρα. Η μηχανή Savery χρησιμοποιούσε την πίεση του ατμού, για να ωθεί το νερό, και θεωρητικά μπορούσε να το ανεβάσει σε οποιοδήποτε ύψος. Το μειονέκτημά της ήταν ότι συχνά ο λέβητας έσκαγε από τη μεγάλη πίεση του ατμού.



Η ατμομηχανή του James Watt.

Το μειονέκτημα αυτό αντιμετωπίστηκε από τον Άγγλο μηχανικό Τ. Newcomen (Νιούκαμεν, 1663-1729), που κατασκεύασε μια μηχανή χαμηλής πίεσης το 1712. Η μηχανή είχε έναν και μοναδικό κύλινδρο, το έμβολο του οποίου έδινε κίνηση στην αντλία. Αρχι-

κά ο κύλινδρος γέμιζε με ατμό από το λέβητα και στη συνέχεια ψεκάζονταν με κρύο νερό. Με τη συμπύκνωση του ατμού και με την ελάττωση της πίεσης μέσα στον κύλινδρο, η εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση ωθούσε το έμβολο, κινώντας τη μηχανή. Η μηχανή ήταν ογκώδης, αργή και με χαμηλή απόδοση, αλλά, λόγω της μεγάλης ζήτησης από τα ορυχεία, κυριάρχησε στην Αγγλία, σχεδόν σε όλο το 18ο αιώνα. Η μηχανή είχε μεγάλες απώλειες θερμότητας, αφού ο ίδιος κύλινδρος έπρεπε να θερμανθεί και να ψυχθεί διαδοχικά.

Το πρόβλημα των απωλειών αντιμετωπίσθηκε το 1765 από το Σκοτσέζο κατασκευαστή επιστημονικών οργάνων J. Watt (Γουάτ, 1736-1819), με την προσθήκη ενός δεύτερου δοχείου. Στο δοχείο αυτό, που ο Watt ονόμασε συμπυκνωτή, οδηγούνταν ο ατμός από τον κύλινδρο και ψύχονταν. Έτσι, ο κύλινδρος παρέμενε συνεχώς θερμός και ο συμπυκνωτής συνεχώς ψυχρός. Το αποτέλεσμα ήταν να διπλασιαστεί η απόδοση της μηχανής. Οι μηχανές του Watt διαδόθηκαν ευρύτατα και χρησιμοποιήθηκαν, για να κινήσουν κάθε είδους άλλες μηχανές.

Μια επιπλέον βελτίωση έγινε το 1800, όταν η ανάπτυξη της μεταλλουργίας επέτρεψε στον Άγγλο μηχανικό R. Trevithik να χρησιμοποιήσει ατμό υψηλής πίεσης και να καταργήσει το συμπυκνωτή, διοχετεύοντας τον ατμό κατευθείαν στην ατμόσφαιρα. Αυτό οδήγησε σε μικρότερες και πιο ευκίνητες μηχανές. Οι μηχανές αυτές κατασκευάστηκαν εμπειρικά κυρίως με τη μέθοδο της δοκιμής και του λάθους, και χωρίς καθόλου σχεδόν θεωρητική καθοδήγηση.


Lazare Carnot (1753-1823)
Sadi (1796-1832)

Η σημασία της ατμομηχανής περιγράφεται παραστατικά το 1824 από τον άνθρωπο που τη μελέτησε και θεωρητικά, το Sadi Carnot (Καρνό): «*Ήδη η ατμομηχανή εκμεταλλεύεται τα ορυχεία μας, προωθεί τα καράβια μας, σκάβει τα λιμάνια και τα ποτάμια μας, σφυρηλατεί το σίδερο, κατεργάζεται το ξύλο, αλέθει τα δημητριακά, κλώθει και υφαίνει τα ρούχα μας, μεταφέρει τα βαρύτερα φορτία κτλ. Φαίνεται ότι κάποια μέρα θα είναι η παγκόσμια κινητήρια δύναμη, αντικαθιστώντας τη δύναμη των ζώων, του νερού και του ανέμου ... Το να αφαιρέσεις σήμερα από την Αγγλία τις ατμομηχανές της θα ήταν σαν να της αφαιρείς ταυτόχρονα το κάρβουνο και το σίδηρο. Θα ήταν σαν να της στερεύεις όλες τις πηγές πλούτου, να καταστρέφεις όλα εκείνα από τα οποία εξαρτάται η ευημερία της· εν συντομία, να εκμηδενίζεις όλη την κολοσσιαία δύναμή της. Η καταστροφή του ναυτικού της, το οποίο θεωρεί ως την ισχυρότερη άμυνά της, θα ήταν ίσως λιγότερο μοιραία*».

Το απόσπασμα αυτό δείχνει την τεράστια συμπύκνωση εργατικής δύναμης που αντιπροσώπευε η ατμομηχανή.

3.1.3 Το αεικίνητο

Για αιώνες οι άνθρωποι προσπαθούσαν ανεπιτυχώς να κατασκευάσουν μηχανές που θα δούλευαν συνεχώς (παράγοντας χρήσιμο έργο) χωρίς να καταναλώνουν τίποτα. Το 18ο αι. διαπρεπείς φυσικοί φιλόσοφοι και μαθηματικοί, όπως ο 'sGravesande (Σχράβεσαντ) και ο Johannes Bernoulli (Μπερνουγί), συνηγόρησαν στη δυνατότητα κατασκευής μιας αεικίνητης μηχανής. Πλήθος από σχέδια για τέτοιες συσκευές κατέκλυζαν τη Γαλλική Ακαδημία επιστημών, καταδεικνύοντας το μάταιο της προσπάθειας. Τελικά, το 1775 η Ακαδημία διακήρυξε ότι το πρόβλημα έκλεισε οριστικά και πως δε θα δέχεται άλλες αιτήσεις με αντίστοιχα σχέδια. Η ανακοίνωση της Ακαδημίας σχετικά με το θέμα έχει ως εξής:

Από αυτό τον χρόνο η Ακαδημία αποφάσισε να μην εξετάζει λύσεις σε προβλήματα με τα εξής θέματα: διπλασιασμό του κύβου, τριχοτόμηση της γωνίας, τετραγωνισμό του κύκλου και κατασκευή οποιασδήποτε μηχανής που ανακοινώνεται ότι επιτυγχάνει αέναη κίνηση ... Η κατασκευή μιας αεικίνητης μηχανής είναι απολύτως αδύνατη. Ακόμα και αν οι τριβές και οι αντιστάσεις δεν καταστρέψουν με το χρόνο το αποτέλεσμα της αρχικής κινητήριας δύναμης, αυτή η δύναμη δεν μπορεί παρά να παραγάγει αποτέλεσμα ίσο με την αιτία του ... Αν η τριβή και η αντίσταση αφαιρεθούν, η αρχική κίνηση που δόθηκε στο σώμα θα συνεχίζεται για πάντα, αλλά δε θα δρα σε άλλα σώματα και η μόνη δυνατή αέναη κίνηση (που δεν μπορεί να υπάρχει στη φύση) θα είναι απολύτως άχρηστη ...

Σχεδόν όλοι οι επιστήμονες που συνέβαλαν στη διατύπωση της αρχής διατήρησης της ενέργειας, θεώρησαν δεδομένο το αδύνατο της ύπαρξης ενός αεικίνητου.

3.2 Τα πρόσωπα

Θα εξετάσουμε τώρα τις προσωπικές ιστορίες των πιο σημαντικών επιστημόνων οι οποίοι συνέβαλλαν στη διατύπωση της αρχής της διατήρησης της ενέργειας, και θα δούμε πώς οι παράγοντες που εξετάσαμε επηρέασαν τον καθένα απ' αυτούς.

3.2.1 Julius Robert Mayer (1814-1878)

Ο Mayer (Μάγιερ) γεννήθηκε στο Heilbronn της νότιας Γερμανίας και σπούδασε ιατρική στο Πανεπιστήμιο του Tübingen. Το 1840 υπηρετούσε ως γιατρός σ' ένα ολλανδικό καράβι στους τροπικούς. Ο ίδιος έγραψε αργότερα ότι οδηγήθηκε στη διατήρηση της «δύναμης«, όταν παρατήρησε ότι το αίμα στις φλέβες των ναυτικών ήταν πολύ πιο φωτεινό απ' ό,τι στα ψυχρά κλίματα, τόσο φωτεινό, ώστε αρχικά ο Mayer το μπέρδεψε με το αίμα που κυκλοφορούσε στις αρτηρίες. Ο Mayer απέδωσε τη διαφορά στο γεγονός ότι ο μεταβολισμός αφαιρεί λιγότερο οξυγόνο από το αίμα, αφού στα θερμά κλίματα απαι-

τείται μικρότερη παραγωγή θερμότητας από το σώμα. Η υπόθεση που έκανε ήταν ότι η θερμότητα του σώματος παράγεται από την καύση της τροφής. Αυτό δεν ήταν τίποτα καινούριο. Κάτι παρόμοιο είχε ήδη υποστηριχθεί το 1780 από τους Lavoisier και Laplace. Πέρα από αυτό, όμως, ο Mayer υποστήριξε δύο επιπλέον υποθέσεις. Πρώτο, ότι η θερμότητα του σώματος και η κίνηση των μυών προέρχονται από τη λανθάνουσα χημική «δύναμη» της τροφής και, δεύτερο, ότι η χημική «δύναμη» που καταναλώνεται είναι ακριβώς ίση με τις «δυνάμεις» που παράγονται, δηλαδή τη θερμότητα και την κίνηση. Αυτό ήταν ένα διανοητικό άλμα, που δεν ήταν δυνατόν να προέρχεται από τις παρατηρήσεις του Mayer. Πιθανότατα οφειλόταν στην εκ των προτέρων πεποίθησή του σχετικά με την ενότητα των φυσικών δυνάμεων. Αν και το ζήτημα δεν έχει ακόμα ξεκαθαριστεί, αρκετοί ιστορικοί της επιστήμης υποστηρίζουν ότι ο Mayer είχε επηρεαστεί σε αυτό το θέμα από τη γερμανική φιλοσοφία της φύσης.

Μετά την επιστροφή του στη Γερμανία ο Mayer εξάσκησε με επιτυχία το επάγγελμα του γιατρού στη γενέτειρά του, αλλά συνέχισε να τον απασχολεί το θέμα της «δύναμης». Ο Mayer θεώρησε ότι μαζί με την ύλη υπάρχει στη φύση και μια δεύτερη οντότητα, που την αποκάλεσε «δύναμη». Όπως και η ύλη, αυτή αλλάζει μορφές, αλλά συνολικά είναι άφθαρτη.

Ο Mayer συνέδεσε αυτή τη «δύναμη» με μια γενική αρχή αιτιότητας, που πιθανώς προερχόταν από τη φιλοσοφία του Kant, και κατέληξε, βάσει αυτής της σύνδεσης, σε μια αρχή της διατήρησης της «δύναμης»:

Οι δυνάμεις είναι αιτίες. Σε αυτές εφαρμόζεται άμεσα η θεμελιώδης αρχή: «η αιτία ισούται με το αποτέλεσμα». Αν η αιτία c έχει το αποτέλεσμα e, τότε c=e. Αν με τη σειρά της η e είναι η αιτία ενός άλλου αποτελέσματος f, τότε e = f κ.ο.κ.: c = e = f = ... = e. Όπως είναι φανερό από τη φύση της εξίσωσης, σε μια αιτιακή αλυσίδα αυτού του είδους, κανένα μέλος της ... δεν μπορεί ποτέ να είναι μηδέν. Αυτή την ιδιότητα, που έχουν όλες οι αιτίες, την ονομάζουμε αφθαρσία. ... Οι αιτίες είναι ποσοτικά άφθαρτα και ποιοτικά μετατρέψιμα αντικείμενα.

Σύμφωνα με το Mayer, η «δύναμη», ως μέγεθος που διατηρείται σταθερό, παρ' όλες τις μετατροπές της, είναι πιο θεμελιώδης οντότητα από τη νευτώνεια δύναμη εξ αποστάσεως, και επομένως ο όρος «δύναμη» πρέπει να αναφέρεται μόνο σ' αυτήν. Η βαρύτητα, υποστήριξε, δεν μπορεί να είναι «δύναμη» με την έννοια της αιτίας, αφού από μόνη της δεν είναι ικανή να προκαλέσει κίνηση. Πρέπει, επίσης, το σώμα στο οποίο δρα η βαρύτητα να απέχει κάποια απόσταση από τη γη. Ο Mayer θεώρησε αυτή την απόσταση ως μια από τις μορφές της «δύναμης» και την ονόμασε «δύναμη πτώσης». Κατά την πτώση ενός σώματος στη γη η δύναμη πτώσης μετατρέπεται σε ισόποση δύναμη κίνησης (*vis-viva*).

Ο Mayer παρατήρησε ότι η κίνηση φαίνεται συχνά να εξαφανίζεται χωρίς να παράγει άλλη κίνηση ή δύναμη πτώσης. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, ισχυρίστηκε, η κίνηση μετατρέπεται σε ένα άλλο είδος δύναμης, τη θερμότητα. Άρχισε να σκέφτεται πως η κίνηση, η δύ-

ναμη πτώσης και η θερμότητα είναι διαφορετικές μορφές μιας ενιαίας «δύναμης» που είναι άφθαρτη. Επομένως, έχουν μεταξύ τους σταθερές αριθμητικές σχέσεις που μπορούν να υπολογιστούν. Ο Mayer έδωσε, σε μία εργασία που δημοσίευσε το 1842, τη σχέση της θερμότητας με τη δύναμη πτώσης (το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας), χωρίς όμως να αναφέρει πώς την υπολόγισε: «η πτώση ενός δεδομένου βάρους από ύψος 365 μέτρων αντιστοιχεί στη θέρμανση ίσου βάρους νερού από 0^o μέχρι 1^o».

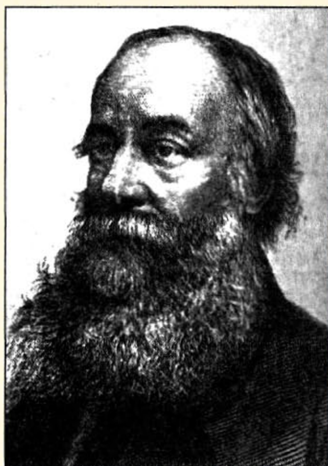
Ο υπολογισμός περιγράφεται αναλυτικά στην επόμενη εργασία του Mayer, που δημοσιεύτηκε το 1848 με δικά του έξοδα ως ξεχωριστό φυλλάδιο. Τον υπολογισμό αυτό τον πραγματοποίησε χρησιμοποιώντας δημοσιευμένα στοιχεία από τις θερμικές μεταβολές των αερίων, χωρίς να επιχειρήσει δικές του μετρήσεις. Στο κείμενο αυτό ο Mayer επεξέτεινε την ιδέα της διατήρησης της δύναμης, ώστε να συμπεριλάβει τις μαγνητικές, τις ηλεκτρικές, καθώς και τις χημικές δυνάμεις. Επίσης, περιέγραψε τις θεμελιώδες μετατροπές της δύναμης στον κόσμο των ζωντανών οργανισμών. Τα φυτά, υποστήριξε, μετατρέπουν το φως και τη θερμότητα του ήλιου σε λανθάνουσα χημική δύναμη, ενώ τα ζώα μετατρέπουν τη χημική αυτή δύναμη σε ζωική θερμότητα και σε μηχανική δύναμη των μυών. Σε μετέπειτα κείμενά του ο Mayer ασχολήθηκε με την εφαρμογή των ιδεών του και σε άλλους επιστημονικούς χώρους, κυρίως στην αστρονομία και στη μελέτη της γης.

Αρχικά η αποδοχή των ιδεών του Mayer ήταν μικρή. Η φιλοσοφικού τύπου επιχειρηματολογία του δεν ήταν καθόλου πειστική σε μια κοινότητα φυσικών, που ήταν συνηθισμένη στην αυστηρή μαθηματική ανάλυση και στο συστηματικό ποσοτικό πειραματισμό. Πολλοί από τους ερευνητές που συνέβαλαν στη διατύπωση της αρχής της διατήρησης της ενέργειας δεν γνώριζαν καν την εργασία του. Ο Helmoltz, π.χ., δημοσίευσε το 1847 τη μελέτη του πάνω στη διατήρηση της δύναμης χωρίς να έχει διαβάσει το Mayer. Το γεγονός ότι ο Mayer βρισκόταν εκτός της επιστημονικής κοινότητας της εποχής και των θεσμών της του στέρησε την πρόσβαση στα γνωστά επιστημονικά περιοδικά και περιόρισε τη διάδοση των ιδεών του. Η τύχη του άρχισε να αλλάζει μετά το 1858, όταν ο Helmoltz, που είχε εν τω μεταξύ διαβάσει τα άρθρα του, αναγνώρισε την προτεραιότητά του στην ανακάλυψη της διατήρησης της ενέργειας. Ο Mayer κέρδισε μετάλλια και διακρίσεις από ακαδημίες και επιστημονικές εταιρείες σε ολόκληρη την Ευρώπη και πέθανε το 1878 μέσα σε δόξα και τιμές.

3.2.2 James Prescott Joule (1818-1889)

Ο Joule (Τζουλ) γεννήθηκε το 1818 στο Salford, κοντά στο Manchester. Οι έρευνές του άρχισαν σε ηλικία 19 ετών κάτω από την επιρροή του William Sturgeon, ενός από τους εφευρέτες του ηλεκτρομαγνήτη. Έκανε τα πειράματά του στο ιδιωτικό του εργαστήριο, το οποίο συντηρούσε στο σπίτι του με δικά του έξοδα. Αυτό ήταν κάτι αρκετά συνηθισμένο στην Αγγλία, τόσο στο 18ο όσο και στο 19ο αιώνα. Αρχικά ο Joule πίστευε ότι με τους ηλεκτρομαγνήτες θα μπορούσε να κατασκευάσει μια αεικίνητη μηχανή, αλλά γρή-

γορα συνειδητοποίησε με απογοήτευση ότι το μηχανικό αποτέλεσμα του ρεύματος ήταν πάντοτε ανάλογο με την αιτία που το παρήγαγε. Εγκαταλείποντας το σχέδιο αυτό, ο Joule αποφάσισε γύρω στο 1840 να μελετήσει τα θερμικά αποτελέσματα του βολταϊκού ηλεκτρισμού και ανακάλυψε το γνωστό νόμο που φέρει το όνομά του: η παραγωγή θερμότητας σε έναν αγωγό τον οποίο διαρρέει ρεύμα είναι ανάλογη με το τετράγωνο της έντασης του ρεύματος και την αντίσταση του αγωγού. Η διάταξη που χρησιμοποίησε φαίνεται εκ των υστέρων πολύ απλή. Βύθισε ένα σπειροειδές σύρμα μέσα σε ένα δοχείο με νερό και μέτρησε πώς μεταβάλλεται η θερμοκρασία με τη μεταβολή της έντασης του ρεύματος και της αντίστασης. Εκείνη την εποχή, όμως, τα πράγματα δεν ήταν καθόλου απλά. Μαζί με τα πειραματικά εργαλεία έπρεπε να εφεύρει σε κάποιο βαθμό και τα εννοιολογικά εργαλεία του. Για παράδειγμα, πέρα από τις δυσκολίες που είχε αντιμετωπίσει σχετικά με τη μέτρηση της έντασης του ρεύματος, καθώς τότε δεν υπήρχαν αμπερόμετρα, έπρεπε επιπλέον να αποσαφηνίσει τι ακριβώς είναι η ένταση ρεύματος και να προσδιορίσει σαφώς τη μονάδα της.



James Prescott Joule
(1818-1889)

Τα επόμενα χρόνια ο Joule συνέχισε να πειραματίζεται με τα θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος. Αποφάσισε, όμως, να αντικαταστήσει τη βολταϊκή στήλη με μια ηλεκτρομαγνητική γεννήτρια, προκειμένου να συγκρίνει τα παραγόμενα ποσά θερμότητας με τη μηχανική δύναμη που τα παρήγαγε, δεδομένου ότι οι χημικές αλλαγές στη βολταϊκή στήλη δεν μπορούσαν να μετρηθούν. Αυτό τον οδήγησε σε μια σειρά πειραμάτων, τα αποτελέσματα των οποίων ανακοινώθηκαν το 1843 στη συνάντηση της Βρετανικής Ένωσης για την Ανάπτυξη της Επιστήμης και δημοσιεύτηκαν το ίδιο έτος στο περιοδικό *Philosophical Magazine*. Στο πιο γνωστό από αυτά τα πειράματα, ο Joule τοποθέτησε τον οπλισμό μιας γεννήτριας μέσα σε ένα κυλινδρικό δοχείο γεμάτο με νερό και περιέστρεφε ολόκληρη τη διάταξη ανάμεσα στους πόλους ενός ακίνητου ηλεκτρομαγνήτη. Το επαγόμενο ρεύμα προκαλούσε μια μικρή αύξηση της θερμοκρασίας του νερού, που μπορούσε να μετρηθεί με ένα θερμόμετρο ακριβείας. Από τα πειράματα αυτά ο Joule συμπέρανε ότι η θερμότητα δεν είναι υλική ουσία αλλά κάποιο είδος κίνησης. Επίσης, μέτρησε για πρώτη φορά το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας.

Τα συμπεράσματα του Joule δε φαίνονταν καθόλου πειστικά στους σύγχρονούς του επιστήμονες. Από ένα μικρό αριθμό μετρήσεων, που αφορούσαν απειροελάχιστες μεταβολές στη θερμοκρασία, διατύπωνε καθολικές γενικεύσεις αμφίβολης εγκυρότητας. Η αυτοπεποίθηση του νεαρού επιστήμονα φαίνεται ότι στηριζόταν σε μια εκ των προτέρων διαμορφωμένη άποψη για τη φύση της θερμότητας. Σε μια διάλεξή του στο Manchester το 1841 είχε υποστηρίξει την ατομική θεωρία της ύλης και την αναπαράσταση της θερ-

μότητας ως ταλάντωσης των ατόμων.

Μετά το 1843 ο Joule ξεκίνησε μια νέα σειρά πειραμάτων με σκοπό να μελετήσει άμεσα, και χωρίς τη μεσολάβηση του ηλεκτρικού ρεύματος, τη μετατροπή της μηχανικής δύναμης σε θερμότητα. Τα πειράματα περιελάμβαναν εκτόνωση και συμπίεση αέρα, θέρμανση υγρών με τη δίοδό τους μέσα από στενούς σωλήνες και μη-ελαστικές συγκρούσεις. Ανάμεσα στα πειράματα αυτά ήταν και το γνωστό από τα σχολικά βιβλία πείραμα της θέρμανσης του νερού με την περιστροφή ενός τροχού με πτερύγια. Η μηχανική δύναμη υπολογίζονταν από τη μετακίνηση του βάρους που κινούσε τον τροχό, ενώ η παραγόμενη θερμότητα από τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού.

Οι τιμές του μηχανικού ισοδυνάμου της θερμότητας, που έπαιρνε από τα διάφορα πειράματα, βρίσκονταν πολύ κοντά μεταξύ τους, δείχνοντας στον Joule ότι πατούσε σε σταθερό έδαφος. Το 1847 ήταν πια έτοιμος να ανακοινώσει τα συμπεράσματά του σε ένα ευρύτερο κοινό. Τον Μάιο του 1847 έδωσε μια δημόσια διάλεξη στο Manchester, που - αν και εκλαϊκευτική - περιείχε μια ουσιαστική περιγραφή των απόψεών του για το μετασχηματισμό της ζώσας δύναμης (*vis-viva*) σε έργο και θερμότητα. Το κείμενο της διάλεξης δημοσιεύτηκε στην εφημερίδα *Manchester Courier*. Στο κείμενο αυτό υποστήριζε ότι «είναι εξαιρετικά παράξενο να υποθέσουμε ότι οι δυνάμεις, με τις οποίες προίκισε την ύλη ο Θεός, μπορούν να καταστραφούν ... η ζώσα δύναμη μπορεί να μετατρέπεται σε θερμότητα και αυτή η θερμότητα μπορεί να μετατρέπεται σε ζώσα δύναμη ή σε ισοδύναμη έλξη εξ αποστάσεως. Και οι τρεις επομένως - δηλαδή η θερμότητα, η ζώσα δύναμη και η έλξη εξ αποστάσεως (στις οποίες θα πρόσθετα επίσης και το φως, αν ήταν μέσα στο πλαίσιο αυτής της διάλεξης) - είναι αμοιβαία μετατρέψιμες η μία στην άλλη. Σε αυτές τις μετατροπές τίποτα δε χάνεται ποτέ. Η ίδια ποσότητα θερμότητας θα μετατρέπεται πάντοτε στην ίδια ποσότητα ζώσας δύναμης».

Τον Ιούνιο του ίδιου έτους έκανε και μια πιο τεχνική ανακοίνωση στη συνάντηση της Βρετανικής Ένωσης για την Ανάπτυξη της Επιστήμης, όπου ανέφερε την τελική εκτίμησή του για το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας. Τη συνάντηση αυτή παρακολουθούσε και ο W. Thomson, νεαρός καθηγητής τότε της φυσικής φιλοσοφίας στο Πανεπιστήμιο της Γλασκόβης, ο οποίος εντυπωσιάστηκε από την εργασία του Joule. Με την υποστήριξη του Thomson, οι έρευνες του Joule άρχισαν να διαβάζονται και να εκτιμώνται από την επιστημονική κοινότητα. Στη δεκαετία του 1850, ο Joule, που έως τότε θεωρούνταν ένας γραφικός ερασιτέχνης, αναγνωρίστηκε ως επιστήμονας πρώτου μεγέθους.

3.2.3 Hermann von Helmoltz (1821-1894)

Ο Helmoltz (Χέλμχολτς) γεννήθηκε το 1821 στο Πότσνταμ της Γερμανίας. Σπούδασε ιατρική στο Βερολίνο. Αν και δε διδάχτηκε μαθηματικά στο πανεπιστήμιο, μελέτησε μόνος του μαθηματική φυσική καθώς και τη φιλοσοφία του Kant. Οι μετέπειτα έρευνές του κάλυπταν ένα τεράστιο φάσμα, από τη φυσική και τη φυσιολογία ως τη φιλοσοφία της επιστήμης.

Το 1841 άρχισε έρευνα για τη διατριβή του στο εργαστήριο φυσιολογίας του J. Müller. Εκεί συνδέθηκε με τους E. du Bois-Reymond και E. Brücke και συμμετείχε στην ομάδα που είχαν συστήσει με σκοπό την αναμόρφωση της φυσιολογίας. Το πρόγραμμα της ομάδας βρισκόταν σε σύγκρουση με την κυρίαρχη βιταλιστική γερμανική φυσιολογία. Οι βιταλιστές δέχονταν, ως κινητήριο στοιχείο των ζωντανών οργανισμών, μια ζωτική δύναμη που δεν υπαγόταν στους νόμους της φυσικής. Αντίθετα, η ομάδα στην οποία συμμετείχε ο Helmoltz απέρριπτε, ως εξήγηση για τις βιολογικές λειτουργίες, όλες τις μη φυσικές δυνάμεις. Όλες αυτές οι λειτουργίες, υποστήριζαν, έπρεπε να μελετηθούν και να ερμηνευτούν αποκλειστικά μέσα στα πλαίσια των νόμων της φυσικής και της χημείας. Η προέλευση της θερμότητας και της κίνησης των ζώων, για παράδειγμα, μπορούσε να αποδοθεί στην οξείδωση των τροφών μέσα στο σώμα. Οι πρώτες δημοσιεύσεις του Helmoltz, πριν από το 1847, αναφέρονταν κυρίως πάνω σ' αυτό το θέμα.

Μετά την αποφοίτησή του το 1842 διορίστηκε ως στρατιωτικός χειρουργός στο Πότσνταμ, αλλά συνέχιζε να εργάζεται πάνω στα θέματα αυτά. Το 1847 παρουσίασε την ιδιαίτερα σημαντική εργασία του «Über die Erhaltung der Kraft« [Περί της διατήρησης της δύναμης] στη Physikalische Gesellschaft (Εταιρεία Φυσικής), που είχε ιδρυθεί μερικά χρόνια πριν στο Βερολίνο. Το ενδιαφέρον του για το θέμα, όπως έγραψε ο ίδιος αρκετά χρόνια αργότερα, προερχόταν όχι μόνο από τη φυσιολογία, αλλά και από μια νεανική επιθυμία του να διερευνήσει τη δυνατότητα κατασκευής ενός αεικίνητου: «Ως σπουδαστής βοηθούσα στη βιβλιοθήκη και στον ελεύθερο χρόνο μου ξεφύλλιζα τα έργα των Daniel Bernoulli, d'Alembert και άλλων μαθηματικών του προηγούμενου αιώνα. Έτσι, οδηγήθηκα στις ερωτήσεις: Ποιες σχέσεις πρέπει να υπάρχουν ανάμεσα στις φυσικές δυνάμεις, ώστε να είναι δυνατή η αέναη κίνηση; Υπάρχουν πράγματι αυτές οι σχέσεις; Στο μνημόνιο «Περί της διατήρησης της δύναμης» ο σκοπός μου βασικά ήταν να εξετάσω αυτές τις ερωτήσεις και να παρουσιάσω τα γεγονότα προς όφελος των φυσιολόγων.»


Hermann von Helmholtz (1821-1894)

Το πρώτο μέρος της εργασίας ξεκινάει με την υπόθεση ότι η κατασκευή ενός αεικίνητου είναι αδύνατη: «Αρχίζουμε με την υπόθεση ότι είναι αδύνατον με οποιοδήποτε συνδυασμό φυσικών σωμάτων να παράγουμε συνεχώς κινητήρια δύναμη από το τίποτα.» Η υπόθεση αυτή ενίσχυε την αρχή της διατήρησης της *vis-viva*, την οποία ο Helmholtz όριζε ως $^1/_2\, mv^2$.

Στο δεύτερο μέρος της εργασίας ο Helmoltz κατέληξε από την αρχή της διατήρησης της vis-viva στην αρχή της διατήρησης της «δύναμης». Για να το κάνει αυτό, εισήγαγε μια

νέα έννοια, που αποκαλούσε «δύναμη τάσης» και αντιστοιχεί στη σημερινή δυναμική ενέργεια. Αυτή υπάρχει όταν τα σώματα είναι ακίνητα αλλά τείνουν να κινηθούν, και καταναλώνεται δημιουργώντας κίνηση. Το άθροισμα της δύναμης τάσης και της *vis-viva* είναι μια σταθερή ποσότητα: «η απώλεια μιας ποσότητας δύναμης τάσης είναι πάντα ίση με την αύξηση της vis-viva και η αύξηση της πρώτης είναι πάντα ίση με την απώλεια της δεύτερης. Συνεπώς το άθροισμα των δυνάμεων τάσης και των vis-viva είναι πάντοτε σταθερό. Εκφρασμένος με έναν τόσο γενικό τρόπο, ο νόμος μπορεί να ονομαστεί αρχή της διατήρησης της δύναμης».

Στο υπόλοιπο τμήμα της εργασίας, ο Helmoltz επέκτεινε την αρχή της διατήρησης της δύναμης σε ολόκληρο το φάσμα των φυσικών φαινομένων, από την κυματική κίνηση και τις μη-ελαστικές συγκρούσεις μέχρι τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά φαινόμενα, και εξέτασε τη συμφωνία γνωστών πειραματικών νόμων, που αφορούν τα φαινόμενα αυτά, με την αρχή της διατήρησης της «δύναμης». Για το Helmoltz οι φυσικοί νόμοι πρέπει όχι μόνο να ικανοποιούν τα πειραματικά δεδομένα, αλλά και να συμφωνούν με θεμελιώδεις αρχές, όπως είναι η αρχή της διατήρησης της «δύναμης».

Τα θερμικά φαινόμενα για το Helmoltz δεν μπορούν να αποδοθούν σε κάποιο είδος υλικής ουσίας (θερμικό ρευστό), αφού η θερμότητα μπορεί να δημιουργείται απεριόριστα από τις μηχανικές «δυνάμεις». Η θερμότητα είναι αποτέλεσμα της *vis-viva* (κινητικής ενέργειας) και των δυνάμεων τάσης (δυναμικής ενέργειας) των ατόμων που αποτελούν τα σώματα.

Η αρχική υποδοχή της εργασίας του Helmoltz ήταν ψυχρή. Το έγκυρο περιοδικό *Annalen der Physik und Chemie* την απέρριψε ως πολύ θεωρητική και χωρίς νέα πειραματικά στοιχεία. Έτσι, ο Helmoltz αναγκάστηκε να την εκδώσει μόνος του ως ξεχωριστό φυλλάδιο. Το περιεχόμενο της εργασίας έχει πολλά κοινά σημεία με προηγούμενες δημοσιεύσεις πάνω στο θέμα, κυρίως με τις εργασίες του Mayer. Με μια αξιοσημείωτη διαφορά: ο Helmoltz είχε βαθιά γνώση της θεωρητικής μηχανικής και η επιχειρηματολογία του ήταν αυστηρά μαθηματική. Έτσι, η εργασία του μετασχημάτισε τη «δύναμη» από μια θολή και ασαφή ιδέα σε μια αυστηρά προσδιορισμένη έννοια, που μπορούσε πλέον να ενταχθεί στο κύριο σώμα της θεωρητικής μηχανικής.

Στη δεκαετία του 1850 η αυστηρή μαθηματική επιχειρηματολογία του Helmoltz σε συνδυασμό με την πειραματική μεθοδικότητα του Joule έγειραν σιγά σιγά την πλάστιγγα υπέρ της νέας έννοιας της «δύναμης». Σημαντικό ρόλο σ' αυτό έπαιξε και η παράλληλη ανάπτυξη της θερμοδυναμικής ως άμεσης απάντησης στα προβλήματα που έθεταν οι ατμομηχανές.

Η επιστημονική πορεία του Helmoltz μετά το 1847 ήταν λαμπρή. Το 1848 έγινε καθηγητής της φυσιολογίας στο Πανεπιστήμιο του Königsberg και στη συνέχεια καθηγητής σε μια σειρά από γερμανικά πανεπιστήμια. Οι έρευνές του εστιάστηκαν κυρίως στη φυσιολογία των αισθήσεων. Το 1866, έχοντας ολοκληρώσει μια σειρά από μνημειώδεις πραγματείες πάνω στο θέμα, εγκατέλειψε τη φυσιολογία για να ασχοληθεί με τη φυσική. Προς το τέλος της ζωής του είχε γίνει μία από τις κυρίαρχες μορφές της γερμανικής επιστήμης

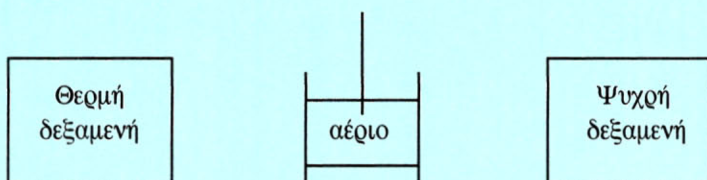
και ο κυριότερος σύμβουλος της γερμανικής κυβέρνησης πάνω σε επιστημονικά θέματα. Το κύρος του στη Γερμανία ήταν τόσο μεγάλο που ένας μαθητής του έγραψε ότι βρισκόταν μόνο ένα σκαλοπάτι κάτω από τον Μπίσμαρκ και το γέρο αυτοκράτορα.

Επίλογος

Στη δεκαετία του 1860 ο όρος «δύναμη» αντικαθίσταται από τον όρο «ενέργεια» και η νέα ενεργειακή φυσική εκτοπίζει σταδιακά τη νευτώνεια φυσική των δυνάμεων εξ αποστάσεως. Βασικό ρόλο εδώ έπαιξε, όπως είδαμε, και η φυσική του πεδίου των Faraday και Maxwell. Οι όροι δυναμική και κινητική ενέργεια καθιερώνονται το 1867, με την πραγματεία των W. Thomson και P.G. Tait, *Treatise on Natural Philosophy* [Πραγματεία περί φυσικής φιλοσοφίας].

Η ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΑΙ Η ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ

Η αρχή της διατήρησης της ενέργειας αποτέλεσε τον έναν από τους δύο βασικούς νόμους ενός νέου κλάδου της φυσικής, της θερμοδυναμικής. Η δημιουργία της θερμοδυναμικής όφειλε πολλά στη θεωρητική μελέτη των ατμομηχανών. Στις αρχές του 19ου αιώνα, το ενδιαφέρον όλων σχεδόν των Γάλλων μηχανικών συγκεντρώνονταν στη θεωρητική μελέτη της ατμομηχανής με στόχο να βελτιωθεί η απόδοσή της. Η πρώτη επιτυχής προσπάθεια παρουσιάστηκε το 1824 από το Sadi Carnot (1796-1832) στο βιβλίο του «Σκέψεις για την κινητήρια δύναμη της φωτιάς». Ο Carnot έθεσε δύο ερωτήματα σε σχέση με τις ατμομηχανές. Πρώτο, αν υπάρχει όριο στην κινητήρια δύναμη που μπορούν να παράγουν και επομένως στη βελτίωσή τους, και δεύτερο, αν υπάρχει αποτελεσματικότερο υλικό από τον ατμό για την παραγωγή αυτής της κινητήριας δύναμης. Ο Carnot θεώρησε μια ιδανική θερμική μηχανή, δηλαδή μια μηχανή χωρίς τριβές και άσκοπες ροές θερμότητας. Η μηχανή αποτελούνταν από μια δεξαμενή θερμότητας με υψηλή θερμοκρασία (θερμή δεξαμενή), μια δεξαμενή θερμότητας με χαμηλή θερμοκρασία (ψυχρή δεξαμενή) και έναν κύλινδρο με έμβολο, που ήταν γεμάτος με αέριο. Το αέριο υφίστατο διάφορες μεταβολές, παίρνοντας θερμότητα από τη θερμή δεξαμενή, δίνοντας θερμότητα στην ψυχρή δεξαμενή και παράγοντας κινητήρια δύναμη. Οι μεταβολές αυτές ήταν κυκλικές, δηλαδή το αέριο ύστερα από μια σειρά μεταβολών επανέρχονταν στην αρχική κατάστασή του.



Η «κινητήρια δύναμη» (ένα μέγεθος ισοδύναμο με αυτό που σήμερα ονομάζουμε έργο) παράγονταν όχι με την κατανάλωση της θερμότητας αλλά με τη ροή της από τη θερμή προς την ψυχρή δεξαμενή. Όση θερμότητα έπαιρνε το αέριο από τη θερμή δεξαμενή τόση ακριβώς απέδιδε στην ψυχρή. Για να κινηθεί η θερμότητα, έπρεπε οπωσδήποτε να υπάρχει διαφορά θερμοκρασίας και πάντα η κίνηση αυτή γινόταν από το θερμό προς το ψυχρό σώμα. Αυτή ήταν μια πρώτη διατύπωση του 2ου θερμοδυναμικού νόμου, που εμφανίστηκε πριν από τον 1ο νόμο (τη διατήρηση της ενέργειας).

Η θερμική μηχανή, σύμφωνα με τον Carnot, λειτουργούσε όπως μια υδροκίνητη μηχανή. Στη θέση του νερού κινούνταν η θερμότητα, ένα αβαρές ρευστό (το «θερμιδικό»), που, όπως το νερό, έμενε άφθαρτο και αναλλοίωτο στο τέλος της διαδικασίας. Έγραφε ο Carnot: «*Μπορούμε να συγκρίνουμε με ικανοποιητική ακρίβεια την κινητήρια δύναμη με αυτήν μιας υδατόπτωσης. Καθεμία έχει ένα μέγιστο που δεν μπορούμε να το υπερβούμε ... Η κινητήρια δύναμη της υδατόπτωσης εξαρτάται από το ύψος της και από την ποσότητα του νερού που ρέει. Η κινητήρια δύναμη της θερμότητας εξαρτάται επίσης από την ποσότητα του θερμιδικού που χρησιμοποιείται και από ... το ύψος της πτώσης του, δηλαδή τη διαφορά θερμοκρασίας των σωμάτων ανάμεσα στα οποία γίνεται η ανταλλαγή του θερμιδικού*».

Η μηχανή του Carnot ήταν αντιστρεπτή. Μπορούσε να λειτουργήσει αντίστροφα, δηλαδή μπορούσε να απορροφήσει θερμότητα από την ψυχρή δεξαμενή και να τη μεταφέρει στη θερμή δεξαμενή αλλά με κατανάλωση κινητήριας δύναμης. Χρησιμοποιώντας την ιδέα της αντιστρεπτότητας, ο Carnot απέδειξε ότι η μηχανή του παρήγαγε τη μέγιστη δυνατή κινητήρια δύναμη. Οποιαδήποτε άλλη μηχανή θα παρήγαγε λιγότερη κινητήρια δύναμη από τη μηχανή Carnot. Επίσης, έδειξε ότι η κινητήρια δύναμη είναι ανεξάρτητη από το είδος του υλικού (αερίου) που χρησιμοποιείται, και εξαρτάται μόνο από τις θερμοκρασίες των σωμάτων ανάμεσα στα οποία γίνεται η ροή της θερμότητας (θερμή και ψυχρή δεξαμενή).

Παρά το διάσημο όνομα του Carnot (ο πατέρας του Lazare Carnot υπήρξε ηγετική φυσιογνωμία της Γαλλικής Επανάστασης), το βιβλίο του πέρασε απαρατήρητο από τους κύκλους των επιστημόνων και των μηχανικών.

Το έργο του Carnot ανακάλυψε στη δεκαετία του 1840 ο W.Thomson, ενώ σπούδαζε στο Παρίσι. Ο Thomson εντυπωσιάστηκε από την εργασία του Carnot και το 1849 δημοσίευσε στην Αγγλία μία εργασία, όπου παρουσίασε στην αγγλική επιστημονική κοινότητα τις ιδέες του Carnot. Εν τω μεταξύ ο Thomson είχε έρθει σε επαφή με τη θεωρία του Joule περί της ισοδυναμίας της θερμότητας με τη μηχανική δύναμη, αλλά δίσταζε να τις αποδεχθεί, γιατί η μετατροπή της θερμότητας σε μηχανική δύναμη φαινόταν να αντιφάσκει με τις ιδέες του Carnot, που θεωρούσε τη θερμότητα άφθαρτη.

Τη σύνθεση των θεωριών του Carnot με τις απόψεις του Joule πραγματοποίησε ο Γερμανός R. Clausius (Κλαούζιους, 1822-1888) σε μία εργασία που δημοσιεύτηκε το 1850. Σύμφωνα με τον Clausius: «...η νέα μέθοδος δεν έρχεται σε αντίθεση με τη βασική αρχή του Carnot, αλλά μόνο με τη δευτερεύουσα θέση ότι η θερμότητα δε χάνεται». Η θερμότητα που εισέρχεται σε μια θερμική μηχανή μεταφέρεται στην ψυχρή δεξαμενή μόνο εν

μέρει. Η υπόλοιπη καταναλώνεται και μετατρέπεται σε μηχανική δύναμη. Εξάλλου η θερμότητα δεν είναι υλική ουσία αλλά «κίνηση των ελάχιστων σωματιδίων των σωμάτων».

Αφού αποσαφήνισε αυτό το σημείο, ο Clausius ήταν σε θέση να διατυπώσει με σαφήνεια τους δύο γνωστούς και σήμερα νόμους της θερμοδυναμικής. Ο πρώτος νόμος, που ήταν μια μερική διατύπωση της αρχής της διατήρησης της ενέργειας, αφορούσε το ενεργειακό ισοζύγιο στις θερμικές μεταβολές ενός αερίου. Από τη θερμότητα που απορροφά το αέριο ένα μέρος καταναλώνεται για να παράγει έργο, ενώ το υπόλοιπο αποθηκεύεται με τη μορφή κινητικής και δυναμικής ενέργειας των σωματιδίων του αερίου. Ο δεύτερος νόμος αφορούσε την κατεύθυνση της ροής της θερμότητας· πάντα από το θερμό προς το ψυχρό σώμα και ποτέ αντίστροφα, τουλάχιστον χωρίς εξωτερική βοήθεια. Σύμφωνα με τη διατύπωση του Clausius: «Είναι αδύνατον για μια μηχανή από μόνη της, χωρίς βοήθεια από οποιονδήποτε εξωτερικό παράγοντα, να μεταφέρει θερμότητα από ένα σώμα σε ένα άλλο υψηλότερης θερμοκρασίας».

Σε ανάλογα αποτελέσματα κατέληξε τον επόμενο χρόνο, το 1851, ο W. Thomson. Τότε εισήγαγε τους όρους «θερμοδυναμική» και «μηχανική ενέργεια».

Το 1854 ο Clausius επινόησε μία νέα έννοια για να περιγράψει μαθηματικά τους μετασχηματισμούς της μηχανής Carnot. Την έννοια αυτή, που εκφραζόταν ως τιμή ενός μεγέθους, την ονόμασε αρχικά «τιμή μετασχηματισμού» και αργότερα «εντροπία», από την ελληνική λέξη «τροπή», που σημαίνει μετασχηματισμός. Σ' έναν κύκλο Carnot συμβαίνουν ταυτόχρονα δύο μετασχηματισμοί: ένας μετασχηματισμός της θερμότητας σε μηχανικό έργο και ένας μετασχηματισμός της θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας σε θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας. Ο Clausius έδωσε θετικές τιμές μετασχηματισμού στη μετατροπή του έργου σε θερμότητα και στη μεταφορά θερμότητας από ένα θερμό σε ένα ψυχρό σώμα, ενώ έδωσε αρνητικές τιμές στους αντίστροφους μετασχηματισμούς, δηλαδή στη μετατροπή της θερμότητας σε έργο και τη μεταφορά της θερμότητας από ένα ψυχρό σε ένα θερμό σώμα. Στον κύκλο Carnot θετικοί και αρνητικοί μετασχηματισμοί εξουδετερώνουν ο ένας τον άλλο και η συνολική τιμή μετασχηματισμού, δηλαδή η συνολική μεταβολή της εντροπίας, είναι μηδέν. Το ίδιο συμβαίνει και σε οποιαδήποτε άλλη αντιστρεπτή μεταβολή. Στις μη αντιστρεπτές μεταβολές όμως, που είναι όλες οι μεταβολές που συμβαίνουν από μόνες τους στη φύση, η συνολική τιμή μετασχηματισμού είναι πάντοτε θετική, δηλαδή η εντροπία πάντοτε αυξάνεται. Αυτή, σύμφωνα με τον Clausius, είναι μία άλλη έκφραση του 2ου θερμοδυναμικού νόμου. Συνοψίζοντας τους δύο νόμους της θερμοδυναμικής, ο Clausius έγραψε το 1865:

«*Μπορούμε να εκφράσουμε με τον ακόλουθο τρόπο τους θεμελιώδεις νόμους του σύμπαντος, οι οποίοι αντιστοιχούν στα δύο θεμελιώδη θεωρήματα της μηχανικής θεωρίας της θερμότητας:*

1. Η ενέργεια του σύμπαντος διατηρείται σταθερή.

2. Η εντροπία του σύμπαντος τείνει προς ένα μέγιστο».

Ποιο ήταν το νόημα όμως αυτής της ιδιόμορφης έννοιας (της εντροπίας) και γιατί είχε την παράξενη ιδιότητα να αυξάνεται συνεχώς δεν ήταν εντελώς κατανοητό εκείνη την

εποχή. Μια ερμηνεία της εντροπίας και των ιδιοτήτων της, με βάση τις κινήσεις και τις κατανομές των σωματιδίων από τα οποία αποτελούνται τα σώματα, έδωσε αργότερα η στατιστική μηχανική, μια εξελιγμένη μορφή της κινητικής θεωρίας των αερίων.

Το 1738, ο Ελβετός μαθηματικός Daniel Bernulli είχε προτείνει ένα κινητικό μοντέλο για τα αέρια, σύμφωνα με το οποίο τα σωματίδιά τους βρίσκονταν σε συνεχή κίνηση. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό η πίεση των αερίων οφειλόταν στις συνεχείς συγκρούσεις των σωματιδίων με τα τοιχώματα. Το μοντέλο, αν και ήταν σε θέση να εξηγήσει γνωστούς πειραματικούς νόμους σχετικούς με τα αέρια, όπως ο νόμος του Boyle, ήταν έξω από το επιστημονικό κλίμα της εποχής και πέρασε γρήγορα στην αφάνεια. Κάποιες προσπάθειες στις αρχές του 19ου αιώνα για την αναβίωση της κινητικής θεωρίας έπεσαν επίσης στο κενό. Η επιρροή των αβαρών ρευστών στη Φυσική ήταν τόσο ισχυρή που ακόμη και η ανάπτυξη της ατομικής θεωρίας στη Χημεία δεν κατάφερε να την κλονίσει.

Με την ανάπτυξη της θερμοδυναμικής, όμως, και την εγκατάλειψη του θερμιδικού ο δρόμος για μια κινητική θεωρία των αερίων και της θερμότητας ήταν ανοιχτός. Αρχικά ο Joule και αργότερα, πιο συστηματικά, ο Clausius επανέφεραν τις κινητικές απόψεις στο προσκήνιο. Σύμφωνα με αυτές η θερμότητα οφείλεται στις κινήσεις των σωματιδίων από τα οποία αποτελούνται τα σώματα και η θερμοκρασία είναι ανάλογη με τη *vis-viva* (κινητική ενέργεια) αυτών των σωματιδίων.

Ο Clausius, αν και παραδεχόταν ότι οι ταχύτητες των σωματιδίων διέφεραν μεταξύ τους, είχε θεωρήσει, για υπολογιστική ευκολία, ότι όλα τα σωματίδια είχαν την ίδια (μέση) ταχύτητα. Το 1860 ο Maxwell προσπάθησε να βελτιώσει τις υπολογιστικές τεχνικές, υπολογίζοντας και τη διακύμανση των ταχυτήτων. Επειδή όμως ο τεράστιος αριθμός των σωματιδίων έκανε αδύνατους τους αναλυτικούς υπολογισμούς με τη χρήση των φυσικών νόμων, ο Maxwell κατέφυγε στη στατιστική και στη θεωρία των πιθανοτήτων. Οι στατιστικές μέθοδοι είχαν ήδη χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην ανάλυση των παρατηρήσεων τόσο στις φυσικές όσο και στις κοινωνικές επιστήμες, αλλά η επινόηση του Maxwell συνίστατο στην περιγραφή με στατιστικές μεθόδους των ίδιων των φυσικών διαδικασιών, πράγμα εντελώς καινοφανές.

Η θερμοδυναμική είναι ένας τρόπος ερμηνείας, ο οποίος βασίζεται στις μακροσκοπικές ιδιότητες των φαινομένων που σχετίζονται με τη θερμότητα. Για μεγάλο διάστημα η θερμοδυναμική θεωρούνταν ως εναλλακτικός τρόπος σε σχέση με τον ατομισμό. Η κινητική θεωρία και στη συνέχεια η στατιστική μηχανική κατάφεραν να συνδέσουν αυτά τα δύο ερμηνευτικά σχήματα.

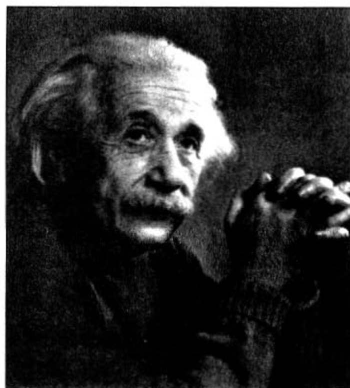
Τέλος, αναφέρουμε και τον τρίτο νόμο της θερμοδυναμικής, που διατυπώθηκε για πρώτη φορά από τον W. Nernst (1864-1941). Σύμφωνα με το νόμο αυτόν είναι αδύνατο να φτάσει κανείς στο απόλυτο μηδέν (στους -273 βαθμούς Κελσίου) και αυτό δεν έχει σχέση με αδυναμίες τεχνολογικού χαρακτήρα, αλλά είναι εγγενές χαρακτηριστικό της φύσης. Η «αιτιολόγηση» αυτού του νόμου απαιτεί τη χρήση της κβαντικής θεωρίας.

Προς το τέλος του αιώνα η κινητική θεωρία εξελίχθηκε σε ξεχωριστό κλάδο της φυσικής, ο οποίος λειτουργούσε παράλληλα και ανεξάρτητα από τη μακροσκοπική θερμοδυναμική και ονομάστηκε «στατιστική μηχανική».

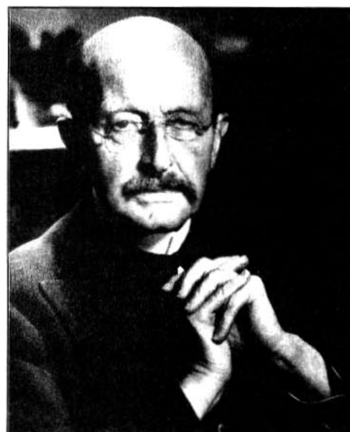
4 Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΟΥ 20ού ΑΙΩΝΑ

Όσο πλησιάζουμε προς τη σύγχρονη εποχή η ιστορική ανασυγκρότηση της εξέλιξης των επιστημονικών θεωριών γίνεται όλο και πιο δύσκολη, ενώ υπάρχει ο κίνδυνος μια τέτοια ανασκόπηση να εκφυλιστεί σε ένα είδος εκλαϊκευτικής περιγραφής των νέων θεωριών. Έχοντας συνείδηση αυτού του κινδύνου, θα επιχειρήσουμε μια ποιοτική περιγραφή της επανάστασης στη φυσική του 20ου αι. προσπαθώντας να αναδείξουμε τις νέες - ριζικά διαφορετικές από τις παλαιότερες - έννοιες που επικράτησαν για τη μελέτη της φύσης.

Με το τέλος του 19ου αι. κλείνει ουσιαστικά το κεφάλαιο που άνοιξε στη διάρκεια της Επιστημονικής Επανάστασης, το 16ο και το 17ο αιώνα. Η κλασική μηχανική έχει θριαμβεύσει και τα φαινόμενα της θερμότητας και του ηλεκτρομαγνητισμού έχουν ερμηνευθεί ικανοποιητικά με βάση θεωρίες που οι προβλέψεις τους συμφωνούσαν, σε μεγάλο βαθμό, με τα πειραματικά δεδομένα. Υπήρχαν, βέβαια, ακόμη διάφορα προβλήματα που δεν είχαν λυθεί, αλλά η επιστημονική κοινότητα θεωρούσε ότι οι λύσεις τους θα ήταν δυνατόν να βρεθούν στο πλαίσιο της κλασικής φυσικής. Οι λύσεις βρέθηκαν, μόνο που οδήγησαν σε ένα νέο τρόπο σκέψης, ο οποίος πολλές φορές ερχόταν σε πλήρη αντίθεση με την κλασική φυσική. Αυτό συνέβη κυρίως στις περιπτώσεις ερμηνείας του πολύ μικρού (κβαντική μηχανική), του πολύ γρήγορου (ειδική θεωρία της σχετικότητας) και του πολύ μεγάλου (γενική θεωρία της σχετικότητας).



Albert Einstein (1879-1955)

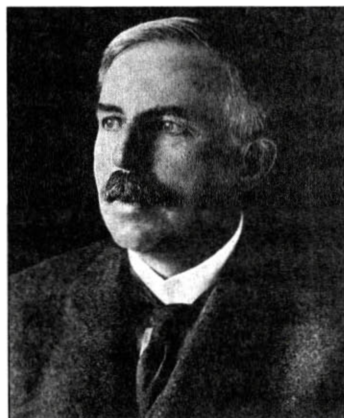


Max Planck (1858-1947)

Η πρώτη μεγάλη αλλαγή προέκυψε από τη μελέτη της συμπεριφοράς των ατόμων. Η διερεύνηση της αλληλεπίδρασης των ατόμων με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία οδήγησε το Max Planck (Μαξ Πλάνκ, 1858-1947) το 1900 και τον Albert Einstein (Άλμπερτ Αϊνστάιν, 1879-1955) το 1905 στο συμπέρασμα πως η ενέργεια δεν ήταν ένα συνεχές μέγεθος, όπως απαιτούσε η κλασική φυσική, αλλά απαρτιζόταν από διακριτές ποσότητες, τα λεγόμενα κβάντα. Το ποσό της ενέργειας σε κάθε φαινόμενο ήταν ένα ακέραιο πολλαπλάσιο μιας ελάχιστης ποσότητας ενέργειας, που δεν ήταν μηδενική. Αυτή η εικόνα της φύσης, όπου η εκπομπή και η απορρόφηση της ενέργειας γίνονταν σε διακριτές ποσότητες, ερχόταν σε

πλήρη αντίθεση με την κλασική φυσική, κατά την οποία η ενέργεια μπορεί - με βάση τους περιορισμούς του κάθε προβλήματος - να αποκτήσει όλες τις τιμές από το ελάχιστο ως το επιτρεπόμενο μέγιστο. Για να προσδιοριστεί η απόλυτη τιμή του ελάχιστου κβάντου της ενέργειας, προτάθηκε μια νέα παγκόσμια σταθερά. Μάλιστα, η σταδιακή καθιέρωση της υπόθεσης των κβάντων οφείλεται σε μεγάλο βαθμό και στην επιτυχία με την οποία χρησιμοποιήθηκε η σταθερά αυτή για την ερμηνεία ορισμένων νέων φαινομένων.

Τα πιο γνωστά από τα νέα αυτά φαινόμενα ήταν η ακτινοβολία του μέλανος σώματος, το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο και η μορφή του φάσματος του υδρογόνου. Ένα μέλαν σώμα μπορεί να αναπαρασταθεί από ένα κουτί βαμμένο μαύρο στο εσωτερικό του, στο οποίο έχει ανοιχτεί μια πολύ μικρή τρύπα. Το κουτί απορροφά από την τρύπα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και στη συνέχεια, από την ίδια τρύπα, την εκπέμπει. Αν μετρήσει κανείς την εκπεμπόμενη ακτινοβολία για διαφορετικές τιμές της συχνότητάς της προκύπτει μια καμπύλη, που αναπαριστά την κατανομή της ενέργειας σε διάφορες συχνότητες. Ο μαθηματικός τύπος που περιγράφει την κατανομή αυτή μπορεί να προκύψει μόνο αν γίνει η υπόθεση ότι η εκπομπή και η απορρόφηση ακτινοβολίας γίνεται σε διακριτές δέσμες ενέργειας.



Lord Ernst Rutherford (1871-1937)

Στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο η απορρόφηση ακτινοβολίας από μία λεία μεταλλική επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα, αν η συχνότητα της ακτινοβολίας υπερβαίνει κάποια τιμή, την εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια. Και αυτό το φαινόμενο μπορούσε να ερμηνευθεί μόνο με την υπόθεση των κβάντων. Τέλος, το φάσμα του υδρογόνου, που αποτελείται από μια σειρά διακριτών γραμμών, παρείχε μια σημαντική ένδειξη ότι στο εσωτερικό των ατόμων τα ηλεκτρόνια ακολουθούν διακριτές τροχιές γύρω από τον πυρήνα. Ήδη το 1911 ο Ernest Rutherford (Ερνστ Ράδερφορντ, 1871-1937) είχε διαπιστώσει πειραματικά πως σχεδόν το σύνολο της μάζας των ατόμων ήταν συγκεντρωμένο στον πυρήνα, ο οποίος ήταν θετικά φορτισμένος. Η θεωρητική ανάλυση της κίνησης των ηλεκτρονίων από το Δανό φυσικό Niels Bohr (Νιλς Μπορ, 1885-1962) το 1913 οδήγησε σε αποτε-



Niels Bohr (1885-1962)

λέσματα, που συμφωνούσαν πλήρως με τα πειραματικά δεδομένα. Και σε αυτή την περίπτωση, η κβαντική σταθερά έπαιξε καθοριστικό ρόλο, και η επιτυχία των όποιων θεωρητικών υπολογισμών προϋπέθετε τη χρησιμοποίηση της κβαντικής αρχής.



Louis de Broglie (1892-1987)

Το 1924 ο De Broglie (Ντε Μπρέιγ, 1892-1987) ολοκλήρωσε τη διδακτορική διατριβή του, στην οποία διατύπωνε για πρώτη φορά μια από τις πιο «τρελές» υποθέσεις στη ιστορία της φυσικής: *κάθε σώμα μπορεί να συμπεριφέρεται και ως κύμα*. Προσέξτε, λέμε ότι «μπορεί να συμπεριφέρεται» και όχι ότι κάθε σώμα μπορεί *να είναι* και κύμα. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο διατυπώσεις υποδηλώνει διαφορετικές φιλοσοφικές προσεγγίσεις. Ο De Broglie πρότεινε μια σχέση, όπου η ορμή ενός σώματος είναι αντιστρόφως ανάλογη με το μήκος κύματος του! Και όμως, οι προβλέψεις αυτής της υπόθεσης επιβεβαιώθηκαν πειραματικά το 1925.



Werner Heisenberg (1901-1976)

Στη διάρκεια του 1925 και 1926 ο Werner Heisenberg (Χάιζενμπεργκ, 1901-1976) και ο Erwin Schroedinger (Σρέντινγκερ, 1887-1961) έθεσαν, εργαζόμενοι ο ένας ανεξάρτητα από τον άλλον, τα θεμέλια της κβαντικής μηχανικής, μιας θεωρίας που περιγράφει με εξαιρετική επιτυχία τους νόμους που διέπουν το μικρόκοσμο. Η περίοδος αυτή κατέληξε με τη σύλληψη και τη διατύπωση της θεμελιακής εξίσωσης της κβαντομηχανικής από το Schroedinger (1926) και της αρχής της αβεβαιότητας από το Heisenberg (1927).



Erwin Schroedinger (1887-1961)

Αυτό που μας ενδιαφέρει εδώ είναι να κατανοήσουμε ορισμένα ποιοτικά στοιχεία αυτών των εξελίξεων. Στη θεμελιώδη εξίσωση της κβαντομηχανικής, γνωστή και ως εξίσωση του Schroedinger, γίνεται χρήση μιας συνάρτησης που ονομάζεται κυματοσυνάρτηση. «Αντιστοιχεί» σε αυτό που σε άλλες εξισώσεις θα ονομάζαμε «άγνωστο». Η λύση της εξίσωσης μας δίνει διάφορες τιμές για την κυματοσυνάρτηση, αλλά η φυσική ερμηνεία αυτών των λύσεων δε γίνεται με τον τρόπο που έχουμε συνηθίσει στην κλασική φυσική. Ουσιαστικά η κυματοσυνάρτηση προσδιορίζει την *πιθανότητα* να είναι ένα σώμα σε μια συγκεκριμένη θέση, την πιθανότη-

τα να έχει μια συγκεκριμένη ορμή ή ενέργεια ή οποιαδήποτε άλλη ιδιότητα, που μπορεί να εκφραστεί μέσω της κυματοσυνάρτησης.

Βέβαια, η χρήση πιθανοτήτων δεν είναι κάτι που χαρακτηρίζει ιδιαίτερα την κβαντική μηχανική, αφού τη συναντάμε επίσης και στην κλασική φυσική. Όμως η ερμηνεία των πιθανοτήτων είναι διαφορετική στις δύο περιπτώσεις. Στην περίπτωση της κλασικής φυσικής η χρήση πιθανοτήτων αποτελεί πάντοτε μια ένδειξη άγνοιας. Για παράδειγμα, όταν ρίχνουμε ένα νόμισμα και λέμε ότι υπάρχει 50% πιθανότητα να φέρουμε κεφάλι και 50% να φέρουμε γράμματα, δε σημαίνει ότι η διαδικασία αυτή είναι τυχαία. Απλώς, η αδυναμία μας να προβλέψουμε τι θα προκύψει οφείλεται στο ότι δε γνωρίζουμε με ακρίβεια κάποιες παραμέτρους του «πειράματος» (όπως την αρχική θέση του νομίσματος στο χέρι μας, τη δύναμη με την οποία το πετάμε, την αντίσταση του αέρα κτλ.). Αν γνωρίζαμε όλες αυτές τις «κρυφές» παραμέτρους, θα ήμαστε σε θέση να προβλέψουμε με ακρίβεια την πλευρά με την οποία θα πέσει το νόμισμα. Άρα, η χρήση πιθανοτήτων, σε αυτή την περίπτωση και γενικότερα στην κλασική φυσική, είναι μια ένδειξη της άγνοιας των «κρυφών» παραμέτρων ενός προβλήματος ή, ενδεχομένως, της αδυναμίας μας να υπολογίσουμε με ακρίβεια τη συμπεριφορά ενός πολύπλοκου συστήματος. Αντίθετα, στην κβαντομηχανική οι πιθανότητες εκφράζουν μία εγγενή κατάσταση του μικρόκοσμου. Οι διαδικασίες στον μικρόκοσμο δεν είναι προβλέψιμες με ακρίβεια, όχι γιατί μας λείπουν κάποιες γνώσεις, αλλά επειδή διέπονται από τυχαιότητα. Δηλαδή, ακόμη και με πλήρη γνώση των αρχικών συνθηκών δεν είμαστε σε θέση να κάνουμε ακριβείς προβλέψεις. Το μόνο που μπορούμε να προβλέψουμε είναι οι πιθανότητες κάποιων συμβάντων, οι οποίες μάλιστα επιβεβαιώνονται πειραματικά.

Μια άλλη αρχή της κβαντομηχανικής είναι ότι δεν είναι δυνατόν να δούμε κάτι πάρα πολύ μικρό, ανεξάρτητα από την τεχνολογία που διαθέτουμε ή και θα μπορούσαμε να διαθέτουμε. Για να δούμε κάτι, πρέπει να το φωτίσουμε και το φως να ανακλαστεί επάνω του. Αν, όμως, αυτό που θέλουμε να δούμε είναι τόσο μικρό, ώστε το φως που θα πέσει πάνω του να το διαταράξει, τότε η προσπάθεια μας να το δούμε θα το μετακινήσει από την αρχική θέση του. Με άλλα λόγια, δεν είναι δυνατόν κάτι πολύ μικρό να παρατηρηθεί και, ταυτοχρόνως, να παραμείνει στην αρχική θέση, που είχε πριν παρατηρηθεί. Αυτή η αδυναμία παρατήρησης ενός πολύ μικρού σώματος εκφράζεται από την αρχή της αβεβαιότητας.

Μπορεί στο σημείο αυτό να δημιουργηθούν στο μαθητή - δικαιολογημένα - ορισμένες αμφιβολίες ως προς την εγκυρότητα αυτών των προτάσεων και να θεωρήσει ότι υπάρχει κάποιο στοιχείο αυθαιρεσίας στον τρόπο που συγκροτήθηκε αυτή η νέα άποψη. Συχνά, όμως, απόψεις που θεωρούνται εντελώς φυσιολογικές αντικαθίστανται - όχι πάντα με ορθολογικά και κοινά αποδεκτά κριτήρια - από άλλες

που δεν φαίνονται εκ πρώτης όψεως φυσιολογικές. Υπάρχει αρκετές φορές ένα πρόσθετο στοιχείο, η *νομιμοποίηση* των νέων ιδεών. Ας θυμηθούμε τι έγινε, όταν πρωτοδιατυπώθηκε η υπόθεση ότι η γη κινείται γύρω από τον ήλιο. Ήταν μια υπόθεση που ερχόταν σε πλήρη αντίθεση με τις γενικά αποδεκτές πεποιθήσεις εκείνης της εποχής, οι οποίες φαίνονταν απολύτως φυσιολογικές. Δηλαδή, η ίδια η καθημερινή εμπειρία οδηγούσε στο συμπέρασμα ότι κινείται ο ήλιος και όχι η γη. Οι επιστήμονες της εποχής, όπως είδαμε, είχαν επινοήσει ένα πλήθος επιχειρημάτων και τεχνασμάτων, για να πείσουν τους συναδέλφους τους και την κοινωνία. Βέβαια, τότε, η σχέση θεωρίας και πειράματος δεν ήταν ίδια με αυτή στις αρχές του 20ού αιώνα. Ούτε υπήρχε εδραιωμένη επιστημονική κουλτούρα, όπως διαμορφώθηκε και κυριάρχησε μετά το 17ο αι., αφού εκείνη την εποχή ουσιαστικά δημιουργήθηκαν οι αρχές της επιστήμης με τη μορφή που έχουν έως τις μέρες μας και διαχωρίστηκε πλήρως η επιστήμη από τη φιλοσοφία. Παρ' όλες τις διαφορές, όμως, υπάρχουν κοινά σημεία στις δύο αυτές περιπτώσεις, κατά τις οποίες προτάθηκαν νέες ιδέες, που έρχονταν σε αντίθεση με αυτό που θεωρούνταν «λογικό» και «φυσιολογικό». Με άλλα λόγια, και στις δύο περιπτώσεις οι διαδικασίες με τις οποίες πείσθηκαν οι επιστήμονες για την εγκυρότητα των νέων ιδεών δεν ήταν αποκλειστικά και μόνο συνδεδεμένες με μαθηματικές αποδείξεις και με πειραματικά αποτελέσματα. Αυτό είναι ένα γενικότερο χαρακτηριστικό της εξέλιξης της επιστημονικής γνώσης, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις που νέες, ριζοσπαστικές ιδέες αντικατέστησαν καθιερωμένες και δοκιμασμένες πεποιθήσεις.

Κάτι παρόμοιο συνέβη και με τη σύλληψη και τη σταδιακή αποδοχή της θεωρίας της σχετικότητας. Το 1905 ο Albert Einstein, υποβάλλοντας σε κριτική τα θεμέλια της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας, κατέληξε στην ειδική θεωρία της σχετικότητας. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή τίποτα δεν μπορεί να κινηθεί με ταχύτητες μεγαλύτερες από την ταχύτητα του φωτός. Η αδυναμία αυτή, δηλαδή να υπερβεί ένα σώμα την ταχύτητα του φωτός, είναι επίσης θέμα αρχής και δεν έχει σχέση με τα τεχνολογικά μέσα που διαθέτουμε. Αν αποδεχτούμε αυτή την αρχή, τότε θα πρέπει να εισαγάγουμε νέες έννοιες, που τροποποιούν τις διαδικασίες με τις οποίες μετρούσαμε το μήκος και το χρόνο. Για παράδειγμα, αν έχω ένα ραβδί, βρίσκω ότι το μήκος του - όταν είμαι ακίνητος ως προς το ραβδί - είναι διαφορετικό από το μήκος που έχει όταν κινούμαι με πολύ μεγάλη ταχύτητα και στη ίδια κατεύθυνση με το ραβδί. Το ίδιο συμβαίνει και με τη μέτρηση του χρόνου. Οι χρόνοι που δείχνει ένα ρολόι διαφέρουν, ανάλογα με το αν υπάρχει σχετική κίνηση ανάμεσα σε αυτό και στον παρατηρητή που μετράει. Επίσης, στην ειδική θεωρία της σχετικότητας αποδεικνύεται πως η μάζα ισοδυναμεί με ενέργεια και πως αν κανείς μετατρέψει έστω και ένα μικρό τμήμα μάζας σε ενέργεια, η ενέργεια που θα προκύψει θα είναι εξαιρετικά με-

γάλη. Σ' αυτή την ισοδυναμία βασίστηκε η κατασκευή της ατομικής βόμβας, των πυρηνικών αντιδραστήρων και η κατανόηση της λειτουργίας του ήλιου.

Ο Einstein το 1916 ολοκλήρωσε τη γενική θεωρία της σχετικότητας. Η ειδική θεωρία της σχετικότητας αφορούσε κινήσεις με σταθερές ταχύτητες. Ο Einstein προσπάθησε να βρει τι συμβαίνει, όταν οι κινήσεις είναι επιταχυνόμενες. Και βέβαια αναγκάστηκε να αντιμετωπίσει τα προβλήματα που σχετίζονται με τη βαρύτητα, αφού η έλξη ενός σώματος από ένα άλλο προκαλεί επιτάχυνση - όπως στην περίπτωση της ελεύθερης πτώσης. Ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα, στα οποία κατέληξε, ήταν πως η βαρύτητα επηρεάζει την πορεία του φωτός. Επίσης, η θεωρία προέβλεψε πως αν οι φωτεινές ακτίνες ενός αστέρα περάσουν πολύ κοντά από ένα σώμα με μεγάλη μάζα (όπως, π.χ., αν παρατηρήσουμε ένα αστέρι πολύ κοντά στον ήλιο, όταν γίνεται ολική έκλειψη ηλίου), τότε η πορεία τους δε θα είναι ευθεία αλλά καμπύλη. Και οι δύο προβλέψεις επιβεβαιώθηκαν πειραματικά.

Αυτές είναι, πολύ σχηματικά, οι βασικές διαφορές ανάμεσα στην κλασική και στη σύγχρονη φυσική. Θα ολοκληρώσουμε αυτή την ενότητα με κάποια ιστορικά ερωτήματα, που έχουν απασχολήσει τους ιστορικούς της φυσικής του 20ού αιώνα. Ένα κεντρικό ερώτημα αφορά τη μετάβαση από την κλασική στη σύγχρονη φυσική: αυτή η μετάβαση χαρακτηρίζεται από συνέχεια ή από ασυνέχεια; Έγινε σταδιακά, δηλαδή οι νέες ιδέες προέκυψαν από προβλήματα και παραδόσεις της κλασικής φυσικής, ή μήπως έγινε απότομα, δηλαδή οι νέες ιδέες δεν υπήρχαν - ούτε καν σε εμβρυακή μορφή - στο εσωτερικό της κλασικής φυσικής; Μια άλλη σειρά ερωτημάτων αφορά την υποδοχή των νέων ιδεών από την επιστημονική κοινότητα: πώς αντιμετώπισε η επιστημονική κοινότητα τις νέες ιδέες; Τι είδους αντιδράσεις υπήρχαν στην αρχή; Όταν πρωτοδιατυπώθηκαν οι ιδέες της κβαντικής φυσικής και της θεωρίας της σχετικότητας, ήταν ακόμη εν ζωή πολλοί γνωστοί φυσικοί, που θεωρούνται από τις κυρίαρχες μορφές της κλασικής φυσικής. Κάποιοι από αυτούς δεν υιοθέτησαν ποτέ τις νέες ιδέες. Αποτελεί άραγε αυτό ένδειξη ενός «παράλογου» συντηρητισμού ή μήπως η υιοθέτηση των νέων ιδεών είχε κάποιο τίμημα, που ήταν δυσβάστακτο για έναν κλασικό φυσικό; Τέλος, ένα άλλο ερώτημα αφορά τη σχέση των νέων ιδεών και του πολιτισμικού περίγυρου. Οι νέες θεωρίες εμφανίστηκαν και ευδοκίμησαν, στην αρχή, στο γερμανόφωνο κόσμο. Υπάρχουν διασυνδέσεις ανάμεσα στις γερμανόφωνες φιλοσοφικές, λογοτεχνικές και θρησκευτικές παραδόσεις και στη σύλληψη και την αποδοχή των νέων επιστημονικών θεωριών;

Τα ερωτήματα αυτά έχουν, εκτός από την ιστορική, και μια φιλοσοφική διάσταση, που αφορά τον χαρακτήρα της αλλαγής των επιστημονικών θεωριών. Για ποιους λόγους και με ποιες διαδικασίες αντικαθίσταται μια θεωρία από μια άλλη; Υπάρχουν αυστηρά κριτήρια, που επιβάλλουν την υιοθέτηση της μιας και την απόρ-

ριψη της άλλης; Ή μήπως η διαδικασία επιλογής θεωριών δεν μπορεί να είναι απολύτως αντικειμενική;   Πρέπει, επίσης, να σημειωθεί ότι η θεωρία της σχετικότητας και, κυρίως, η κβαντική μηχανική έχουν σημαντικές επιπτώσεις για μια σειρά κεντρικών φιλοσοφικών προβλημάτων, όπως είναι η φύση του χώρου και του χρόνου (θεωρία της σχετικότητας), η δυνατότητα αντικειμενικής γνώσης της φύσης, η ανεξαρτησία του εξωτερικού κόσμου από τον παρατηρητή (κβαντική μηχανική), κτλ.

Ερωτήσεις

1) Είδαμε ότι η φιλοσοφία της φύσης έπαιξε σημαντικό ρόλο τόσο στη διατύπωση της αρχής της διατήρησης της ενέργειας όσο και στη διερεύνηση των ηλεκτρομαγνητικών φαινομένων. Θεωρείτε θεμιτό να επηρεάζουν φιλοσοφικές / μεταφυσικές πεποιθήσεις την επιστημονική έρευνα;

2) Να περιγράψετε συνοπτικά την εξέλιξη του ηλεκτρομαγνητισμού στο πρώτο μισό του 19ου αιώνα. Ποιοι ήταν οι πιο σημαντικοί σταθμοί σ' αυτή την εξέλιξη;

3) Ο Maxwell θεωρούσε ότι ο αιθέρας είναι η καλύτερα επιβεβαιωμένη οντότητα της φυσικής φιλοσοφίας. Σήμερα δεν πιστεύουμε πια στην ύπαρξη του αιθέρα. Τι συμπεράσματα θα βγάζατε από την «πλάνη» του Maxwell; Ήταν παράλογη η πεποίθησή του; Ή μήπως η πλάνη αυτή αντανακλά ένα αναπόφευκτο στοιχείο της επιστημονικής γνώσης, δηλαδή τον προσωρινό χαρακτήρα της;

4) Στο προηγούμενο κεφάλαιο είδαμε ότι ήταν ιδιαίτερα δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να πούμε με σαφήνεια πότε και από ποιον ανακαλύφθηκε το οξυγόνο. Η ανακάλυψη της διατήρησης της ενέργειας παρουσιάζει αντίστοιχα προβλήματα; Ποιος θα λέγατε ότι ανακάλυψε τη διατήρηση της ενέργειας και πότε; Ταυτίζεται η «δύναμη» με την «ενέργεια»; (*)

5) Διαβάσατε για τους τρεις διαφορετικούς ερευνητές, που οδηγήθηκαν στην αρχή της διατήρησης της ενέργειας. Ποια είναι τα «κοινά» στοιχεία του έργου τους και κυρίως της σκέψης τους; Ποια είναι τα στοιχεία εκείνα που τους κάνουν να διαφέρουν; (*)

6) Συζητήστε το θέμα της «ενοποίησης» στη φυσική του 19ου αιώνα. Ποια ήταν η πηγή της άποψης ότι η φύση είναι ενιαία και ότι η επιστήμη πρέπει να ενοποιηθεί; Πώς επηρέασε αυτή η άποψη τη φυσική του 19ου αιώνα; Θεωρείτε λογική (επιστημονική) την απαίτηση για ενοποίηση;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΟ 19ο ΚΑΙ 20ό ΑΙΩΝΑ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ιστορία της τεχνολογίας είναι ένας κλάδος με ιδιαίτερα ευρύ αντικείμενο. Ένας από τους κύριους στόχους της είναι η ιστορική ανασυγκρότηση της δημιουργίας και της εξέλιξης των τεχνητών αντικειμένων. Αυτό που κυρίως μας ενδιαφέρει είναι να γίνει κατανοητή η διαδικασία της εφεύρεσης, της κατασκευής και της χρήσης αυτών των αντικειμένων. Η ιστορία της τεχνολογίας, βέβαια, στοχεύει στη διερεύνηση και άλλων θεμάτων, όπως είναι οι κοινωνικές επιπτώσεις της τεχνολογίας, ο ρόλος του κοινωνικού περίγυρου στη διαμόρφωση των συγκεκριμένων τεχνολογιών, η σχέση τεχνολογίας και κοινωνίας, οι πολιτικές και οικονομικές προεκτάσεις της τεχνολογίας, τα ηθικά προβλήματα που δημιουργούνται από τη χρήση της τεχνολογίας, κτλ.

Πολλοί θεωρούν την τεχνολογία ως εφαρμογή των επιστημονικών γνώσεων. Η αλήθεια αυτής της άποψης αποδεικνύεται από διάφορες εφευρέσεις· ωστόσο η σχετικά ανεξάρτητη πορεία της τεχνολογίας αποτελεί γεγονός το οποίο δεν πρέπει να παραβλέπουμε. Η επιστήμη και η τεχνολογία διαφέρουν ως προς το προϊόν που παράγουν. Προϊόν της επιστημονικής έρευνας είναι κάποια επιστημονική εργασία που συμβάλλει στη γνώση του φυσικού κόσμου, ενώ τελικό προϊόν της τεχνολογικής έρευνας είναι κάποιο υλικό αντικείμενο. Αναμφισβήτητα η τεχνολογία χρησιμοποίησε και εξακολουθεί να χρησιμοποιεί πολλά στοιχεία από την επιστήμη. Αλλά και η εξέλιξη της επιστήμης, επίσης, οφείλει πολλά στην τεχνολογία. Σ' αυτή την ενότητα θα παρουσιάσουμε την ιστορία της τεχνολογίας ως έναν κλάδο με αυτόνομη πορεία και όχι ως «ιστορία εφαρμογής των επιστημών».

Η αφήγηση μας θα επικεντρωθεί στο 19ο και στον 20ό αιώνα. Η τεχνολογία, όπως έχουμε συνηθίσει να τη θεωρούμε σήμερα, εμφανίστηκε στο τέλος του 18ου αιώνα. Έως τότε υπήρχε μόνο η τεχνική, δηλαδή ένα σύνολο τεχνών και δεξιοτήτων. Η μετάδοση αυτών των τεχνών γινόταν από τον εκάστοτε τεχνίτη στους μαθητευόμενους βοηθούς. Ο μαθητευόμενος τεχνίτης μάθαινε μ' αυτό τον τρόπο διάφορες τεχνικές κατασκευής και γινόταν ικανός να ασκεί την αντίστοιχη τέχνη. Η τεχνολογία, ως ένα βαθμό, είναι ο εξορθολογισμός και η συστηματοποίηση όλων αυτών των τεχνών. Στο

πλαίσιο της τεχνολογίας παρέχεται μια θεωρητική εξήγηση της επιτυχίας των διαφόρων τεχνικών και δημιουργούνται μηχανισμοί μετάδοσης της τεχνολογικής γνώσης, με την παραγωγή σχετικών εγχειριδίων, με τη συστηματική διδασκαλία, κτλ.

Το τέλος του 18ου αι. συνδέεται με τη βιομηχανική επανάσταση. Ο όρος «βιομηχανική επανάσταση» χρησιμοποιήθηκε αρχικά από το διάσημο ιστορικό Arnold Toynbee (Τόινμπι, 1889-1975), για να περιγράψει τι συνέβη στην Αγγλία από το 1760 έως το 1830. Ο όρος αυτός δηλώνει τόσο τις εφευρέσεις που έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία της σύγχρονης βιομηχανίας όσο και τις κοινωνικο-οικονομικές αλλαγές που επέφεραν αυτές οι τεχνολογικές καινοτομίες.

Οι βασικές τεχνολογικές διαστάσεις αυτής της επανάστασης αφορούν τη μηχανοποίηση της παραγωγής υφασμάτων και την επακόλουθη ανάπτυξη της υφασματοβιομηχανίας, την ανάπτυξη της βιομηχανίας χάλυβα και τη μεγάλη ώθηση στις μεταφορές με τη δημιουργία του (ατμοκίνητου) σιδηρόδρομου και του ατμόπλοιου. Εμφανίζεται μια νέα πηγή ισχύος, ο ατμός, που μέσω της ατμομηχανής αποτελεί την κινητήρια δύναμη όχι μόνο των τρένων και των πλοίων, αλλά και των νέων μηχανών που χρησιμοποιούνται στα πρωτοεμφανιζόμενα εργοστάσια. Οι νέες μηχανές αυτοματοποιούν τη διαδικασία του κλωσίματος και της ύφανσης, και οδηγούν σε μια εντυπωσιακή αύξηση της παραγωγής υφασμάτων.

Οι μηχανές αυτές ήταν ιδιαίτερα ακριβές και επομένως η αγορά τους απαιτούσε μεγάλη συσσώρευση κεφαλαίου. Αυτό το στοιχείο παραπέμπει στις ευρύτερες διαστάσεις της βιομηχανικής επανάστασης, η οποία από τη μία πλευρά συνδέεται με την ανάπτυξη του κεφαλαιοκρατικού συστήματος και από την άλλη είχε καθοριστικές επιπτώσεις στις κοινωνικο-οικονομικές και πολιτισμικές δομές, αρχικά στις συγκεκριμένες κοινωνίες, όπου άρχισε η βιομηχανική επανάσταση, και στη συνέχεια σ' ολόκληρο τον κόσμο. Μία από αυτές τις επιπτώσεις αφορούσε τη φύση της ανθρώπινης εργασίας. Οι άνθρωποι αρχίζουν να απομακρύνονται από τη γη· για πρώτη φορά η κατοικία των εργαζομένων διακρίνεται από το χώρο εργασίας (το εργοστάσιο). Στους νέους χώρους εργασίας οι εργάτες εργάζονται βάσει ενός αυστηρού, εξαντλητικού ωραρίου. Οι εργασίες που εκτελούν είναι κατά κανόνα μονότονες και απαιτούν υψηλή πειθαρχία και ολοένα λιγότερες δεξιότητες. Γύρω από τους νέους χώρους εργασίας δημιουργούνται νέες πόλεις. Είναι, επίσης, ενδιαφέρον γεγονός ότι την ίδια περίοδο αναπτύσσονται οικονομικές θεωρίες για τη συσσώρευση του πλούτου, την αξία των εμπορευμάτων, την πηγή του κέρδους κτλ.

Κατά τη διάρκεια της βιομηχανικής επανάστασης επιταχύνονται οι τεχνικές καινοτομίες. Αυτές όμως δε συνδέονται με τις επιστημονικές γνώσεις της εποχής εκείνης. Τα μηχανήματα που εμφανίζονται εκείνη την περίοδο, ιδιαίτερα στην υφαντουργία, που ήταν ο μοχλός της βιομηχανικής επανάστασης, δεν προκύπτουν από

την εφαρμογή επιστημονικών γνώσεων, αλλά αποτελούν συνέχεια των παλαιότερων πρακτικών και τεχνών. Έως τα μέσα του 19ου αι. η αλληλεπίδραση επιστήμης και τεχνικής (τεχνολογίας) είναι περιορισμένη. Μόνο στο δεύτερο μισό του 19ου αι. η σχέση επιστήμης και τεχνολογίας γίνεται πιο στενή.

Η ανάπτυξη της ηλεκτρικής βιομηχανίας, της χημικής βιομηχανίας και της βιομηχανίας χάλυβα μετά το 1860 έχει χαρακτηριστεί ως μια «δεύτερη βιομηχανική επανάσταση». Η κύρια διαφορά της από την πρώτη ήταν ότι βασίστηκε σε μεγάλο βαθμό σε εφαρμογές της επιστήμης. Η ανάπτυξη της οργανικής χημείας έπαιξε σημαντικό ρόλο στη βιομηχανία συνθετικών βαφών και λιπασμάτων, και η διατύπωση της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας ήταν καθοριστική για τη δημιουργία της ηλεκτρικής βιομηχανίας (ηλεκτρικός φωτισμός, ηλεκτρική ενέργεια, επικοινωνίες).

Στον 20ό αι. γίνεται ακόμη μεγαλύτερη η σημασία της επιστημονικής έρευνας για την τεχνολογική εξέλιξη. Πολλές νέες τεχνολογίες, που προϋπέθεταν ένα μεγάλο εύρος επιστημονικών γνώσεων, (π.χ. ηλεκτρονική, πυρηνική ενέργεια) αναδύθηκαν σε επιστημονικά εργαστήρια. Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία δεν είναι απλώς εφαρμοσμένη επιστήμη, πολλές εφευρέσεις δε θα είχαν γίνει αν δεν είχαν προηγηθεί κάποιες επιστημονικές ανακαλύψεις. Η σχέση επιστήμης και τεχνολογίας είναι ιδιαίτερα σύνθετη και δεν μπορεί να περιγραφεί με απλοϊκό τρόπο. Αν και η επιστήμη θέτει περιορισμούς στη σχεδίαση ενός τεχνολογικού αντικειμένου, δεν την καθορίζει πλήρως. Αυτά που προσδιορίζουν σε τελική ανάλυση τη μορφή που παίρνουν τα τεχνολογικά προϊόντα είναι οι κοινωνικο-οικονομικές παράμετροι και, κυρίως, η προϋπάρχουσα τεχνολογική παράδοση.

Στις ενότητες που ακολουθούν θα εξετάσουμε μερικούς σημαντικούς σταθμούς στην εξέλιξη της τεχνολογίας κατά το 19ο και τον 20ό αιώνα.

2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ 19ο ΑΙΩΝΑ

2.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Πριν αναφερθούμε σε συγκεκριμένες τεχνολογικές καινοτομίες του 19ου αι., θα ήταν σκόπιμο να αναφερθούμε σε μερικά γενικά χαρακτηριστικά της τεχνολογικής εξέλιξης αυτής της περιόδου. Τα χαρακτηριστικά αυτά σχετίζονται με τη διαδικασία παραγωγής και εμφανίζονται αρχικά στις Η.Π.Α. Στην Αμερική η έλλειψη εργατικής δύναμης έκανε πολύ έντονη την ανάγκη χρήσης μηχανών, τη μηχανοποίηση της παραγωγής· αντίθετα, η ανάγκη αυτή δεν ήταν το ίδιο έντονη στην Αγγλία, όπου υπήρχαν άφθονα εργατικά χέρια. Αυτός ήταν ένας από τους λόγους ανάδυσης του λεγό-

μενου «αμερικανικού συστήματος» παραγωγής. Ο όρος καθιερώθηκε από τα μέσα του 19ου αιώνα. Τα βασικά χαρακτηριστικά αυτού του συστήματος είναι τα εξής:

1. Τα προϊόντα κατασκευάζονται από ειδικές εργαλειομηχανές και αποτελούνται από συναρμολογούμενα μέρη.

2. Η διαδικασία παραγωγής χαρακτηρίζεται από υψηλή τυποποίηση και ακρίβεια.

Τόσο η τυποποίηση όσο και η παραγωγή ανταλλακτικών απαιτούν εργαλειομηχανές ακριβείας, ακριβή όργανα μέτρησης για τον έλεγχο των προϊόντων, γενικά αποδεκτά στάνταρ μέτρησης, καθώς και χρήση ομοιόμορφων υλικών.

Η δημιουργία του «αμερικανικού συστήματος» συνδέεται άμεσα με τη βιομηχανία όπλων, όπου έγιναν οι πρώτες προσπάθειες για την τυποποίηση και την παραγωγή όπλων με συναρμολογούμενα μέρη. Το σύστημα αυτό συνδέεται και με την ανάπτυξη των σιδηροδρόμων. Έτσι, από τις αρχές του 19ου αι. αναδύεται στις Η.Π.Α. το λεγόμενο στρατιωτικό-βιομηχανικό σύμπλεγμα, που αποτελείται από την κυβέρνηση, το στρατό, και τις βιομηχανίες οπλικών συστημάτων. Στη Βρετανία κάτι αντίστοιχο εμφανίστηκε αρκετά αργότερα, στη δεκαετία του 1880.

Η μηχανοποίηση και η τυποποίηση της παραγωγής, καθώς και η πρόοδος των μεταφορών κάνουν δυνατή τη μαζική παραγωγή και διανομή αγαθών. Αυτά τα χαρακτηριστικά του «αμερικανικού συστήματος» διαδίδονται σταδιακά και στις ευρωπαϊκές χώρες. Ας δούμε, τώρα, κάποιες σημαντικές τεχνολογικές εξελίξεις κατά το 19ο αιώνα. Θα επικεντρωθούμε στις μεταφορές, στις επικοινωνίες, στην ηλεκτρική βιομηχανία και στη χημική βιομηχανία.

2.2 Μηχανές και μεταφορές

Στις μεταφορές παρατηρήθηκαν τεράστιες ανακατατάξεις με την εμφάνιση των ατμοκίνητων σιδηροδρόμων και πλοίων. Ο ρόλος της ατμομηχανής υπήρξε καθοριστικός. Η πρώτη σιδηροδρομική γραμμή, για τη μεταφορά επιβατών και φορτίων, εγκαινιάζεται το 1830 στην Αγγλία. Στη δεκαετία του 1830 το σιδηροδρομικό δίκτυο επεκτείνεται με αργούς ρυθμούς. Στα μέσα της δεκαετίας του 1840, όμως, η επέκταση του σιδηροδρομικού δικτύου επιταχύνεται σημαντικά παίζοντας σημαντικό ρόλο στην οικονομική ανάπτυξη.

Η ατμομηχανή παρέμεινε κυρίαρχη στις μεταφορές έως τη δημιουργία και τη διάδοση της μηχανής εσωτερικής καύσης. Αυτή η μηχανή αποτελεί μετεξέλιξη της ατμομηχανής. Η βασική διαφορά τους είναι η εξής: στην ατμομηχανή η καύση γίνεται έξω από τον κύλινδρο, ενώ στη μηχανή εσωτερικής καύσης η καύση γίνεται μέσα στον κύλινδρο. (Βλ. το ένθετο για την ατμομηχανή). Οι αρχές λειτουργίας της μηχανής εσωτερικής καύσης ήταν γνωστές από τις αρχές του 19ου αιώνα. Παρ' όλα αυτά, η

πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης εφευρέθηκε το 1860 από το Βέλγο J.J.E. Lenoir (Λενουάρ, 1822-1900). Το καύσιμο που χρησιμοποιούσε αυτή η μηχανή ήταν φωτιστικό αέριο. Οι πρώτες επιτυχημένες μηχανές εσωτερικής καύσης κατασκευάστηκαν στη Γερμανία το 1864. Το καύσιμο που χρησιμοποιούσαν ήταν μείγματα αερίων από κάρβουνα και τις χρησιμοποιούσαν κυρίως σε εργοστάσια. Το 1876 ο N. Otto (1832-1891) εφηύρε μία μηχανή εσωτερικής καύσης, που αποτέλεσε τη βάση των μηχανών που χρησιμοποιήθηκαν μετέπειτα στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Η βενζίνη άρχισε να χρησιμοποιείται ως καύσιμο στις μηχανές εσωτερικής καύσης από το 1880 και μετά. Το πετρέλαιο, ως νέα μορφή ενέργειας, είχε εμφανιστεί ήδη από το 1859. Τότε άνοιξε η πρώτη πετρελαιοπηγή στην Πενσυλβάνια των Η.Π.Α. Λίγο αργότερα και η Ρωσία άρχισε την άντληση πετρελαίου από τα κοιτάσματα του Μπακού, στην Κασπία Θάλασσα. Ένα παράγωγο του πετρελαίου, η κηροζίνη, χρησιμοποιήθηκε αρχικά σε λάμπες φωτισμού. Τα πιο βαριά προϊόντα της απόσταξης χρησιμοποιούνταν ως καύσιμο για τις ατμομηχανές.

2.3 Επικοινωνίες: ο τηλέγραφος

Η ανάπτυξη των σιδηροδρόμων συνδέεται με τη διάδοση μιας νέας εφεύρεσης, του τηλέγραφου, καθώς κατά μήκος του σιδηροδρομικού δικτύου υπήρχε ανάγκη άμεσης επικοινωνίας. Ένα πρώιμο είδος τηλέγραφου εφευρέθηκε από τον Αμερικανό φυσικό J. Henry (Χένρυ, 1797-1878). Ο Henry έφτιαξε όργανα που επέτρεπαν την ανίχνευση σημάτων που «ταξίδευαν» σε μεταλλικά σύρματα. Το 1831 έφτιαξε έναν ηλεκτρικό τηλέγραφο αυτού του είδους, του οποίου το καλώδιο ξεπερνούσε το 1 μίλι.

Άλλες μορφές τηλέγραφου είχαν ως αφετηρία την ανακάλυψη του ηλεκτρομαγνητισμού. Όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο, με τη διάταξη του Oersted ήταν δυνατό να ανιχνευτεί ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Ο S.C. Schweigger (Σβάιγκερ) αύξησε την ευαισθησία αυτής της διάταξης αντικαθιστώντας τον απλό κυκλικό αγωγό με ένα πηνίο. Αυτό το όργανο αρχικά ονομάστηκε «πολλαπλασιαστής» και στη συνέχεια «γαλβανόμετρο». Το 1832 ο βαρόνος Schilling (Σίλινγκ) χρησιμοποίησε γαλβανόμετρα, για να κατασκευάσει έναν τηλέγραφο. Ο J.C.F. Gauss (Γκάους) και ο W.E. Weber (Βέμπερ), μέσω ενός παρόμοιου συστήματος, συνέδεσαν το Πανεπιστήμιο του Γκέτινγκεν με το μαγνητικό παρατηρητήριο, σε απόσταση περίπου ενός χιλιομέτρου.

Η πιο διαδεδομένη μορφή τηλέγραφου εφευρέθηκε από τον S. Morse (Μορς, 1791-1872), μεταξύ του 1835 και του 1844. Ο Morse ήταν καθηγητής Καλών Τεχνών στο Πανεπιστήμιο της Νέας Υόρκης. Η πρώτη τηλεγραφική γραμμή μεταξύ Ουάσιγκτον και Βαλτιμόρης εγκαινιάστηκε από το Morse το 1844. Το 1853 έγινε δυνατή η εγκα-

τάσταση της πρώτης υποβρύχιας τηλεγραφικής γραμμής από τη Σκωτία στην Ιρλανδία. Μετά από διάφορες αποτυχημένες προσπάθειες και παράλληλες βελτιώσεις ως προς τη δυνατότητα του καλωδίου να μένει αδιάβροχο, από το 1855 έως το 1866, έγινε επίσης δυνατή η εγκατάσταση και η λειτουργία του υπόγειου καλωδίου από την Ευρώπη στην Αμερική.

Η ανάπτυξη του τηλέγραφου επέφερε σημαντικές αλλαγές στο σχεδιασμό των μαχών στους πολέμους αλλά και στη διοίκηση τόσο των απομονωμένων περιοχών μέσα σε μία χώρα όσο και των αποικιών.

2.4 Ηλεκτρική ενέργεια: ο ηλεκτρικός κινητήρας και το δυναμό

Πριν από το 1870 ο τηλέγραφος παρέμενε η κύρια εφαρμογή της έρευνας στα φαινόμενα του ηλεκτρισμού. Είχαν προηγηθεί βέβαια οι εφευρέσεις του ηλεκτρικού κινητήρα και του δυναμό, αλλά δεν είχαν διαδοθεί ευρέως. Έχουμε ήδη αναφέρει ότι ο Faraday ανακάλυψε το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής περιστροφής, που αποτελεί την αρχή λειτουργίας του ηλεκτρικού κινητήρα. Επίσης, το 1831 ο Henry εφηύρε έναν ηλεκτρικό κινητήρα, του οποίου η λειτουργία είχε κάποιες ομοιότητες με τη λειτουργία της ατμομηχανής. Το 1838 η μηχανή του Henry βελτιώθηκε από τον Ch. Page (Πέιτζ), που κατασκεύασε μια παλινδρομική ηλεκτρική μηχανή, το ηλεκτρικό αντίστοιχο της ατμομηχανής. Το πλεονέκτημα της ηλεκτρικής μηχανής ήταν ότι μπορούσε να μετακινηθεί εύκολα - ήταν φορητή. Η ατμομηχανή, όμως, υπερτερούσε από πλευράς ισχύος και γι' αυτό το λόγο καθυστέρησε η διάδοση της χρήσης ηλεκτρικών κινητήρων.

Την ίδια εποχή, προς τα τέλη της δεκαετίας του 1860, εφευρίσκεται μια νέα μορφή δυναμό (γεννήτριας ηλεκτρικού ρεύματος). Τα δυναμό που υπήρχαν έως τότε δεν ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματικά και ήταν ακριβά, κυρίως επειδή η λειτουργία τους βασιζόταν στη χρήση μόνιμων μαγνητών. Στο νέο είδος δυναμό αντί για μόνιμους μαγνήτες υπήρχαν πηνία. Η συσκευή αυτή εφευρέθηκε περίπου ταυτόχρονα από τους C.F. Varley (Βάρλεϊ), Ch. Wheatstone (Γουίτστοουν) και W. Siemens (Ζίμενς). Η παραγωγή δυναμό ξεκίνησε γύρω στα 1870 από την εταιρεία του Siemens, του σπουδαίου αυτού Γερμανού μηχανικού. Αυτή η νέα εφεύρεση με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με χαμηλό κόστος έδωσε τη δυνατότητα της μαζικής χρήσης του ηλεκτρισμού στη βιομηχανία, στις μεταφορές και στα συστήματα φωτισμού.

Πρωτοπόρος στη διάδοση της ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ο Αμερικανός εφευρέτης Th. Edison (Έντισον). Το 1878 ο Edison ξεκίνησε ένα πρόγραμμα με στόχο τη δημιουργία ενός συστήματος ηλεκτρικού φωτισμού. Έως τότε υπήρχαν δύο συστήματα φωτισμού. Το ένα βασιζόταν στη χρήση φωτιστικού αερίου και το άλλο στη

χρήση ηλεκτρικών τόξων. Το ηλεκτρικό σύστημα προοριζόταν αποκλειστικά για δημόσιους χώρους εξαιτίας ενός χαρακτηριστικού του: όλες οι ηλεκτρικές διατάξεις φωτισμού ήταν συνδεδεμένες κατά σειρά, πράγμα που σήμαινε ότι έπρεπε να ανοίγουν και να κλείνουν ταυτόχρονα. Το σύστημα του Edison είχε ως στόχο το μετασχηματισμό του ηλεκτρικού συστήματος φωτισμού, με βάση τη λάμπα πυράκτωσης που είχε κατασκευάσει με επιτυχία το 1879, έτσι ώστε να γίνει κατάλληλο και για ιδιωτική χρήση.

Το μοντέλο βάσει του οποίου ο Edison σχεδίασε το σύστημά του ήταν το ήδη υπάρχον σύστημα φωτισμού μέσω φωταερίου, στο οποίο υπήρχε μία κεντρική μονάδα που διένεμε το φωταέριο στους καταναλωτές. Στο σύστημα του Edison υπήρχε, επίσης, ένας κεντρικός σταθμός παραγωγής ενέργειας, που βρισκόταν σε μεγάλη απόσταση από τους καταναλωτές. Ο ηλεκτρισμός μεταφερόταν στους καταναλωτές διαμέσου υπόγειων χάλκινων συρμάτων. Κάποια, οικεία σήμερα, χαρακτηριστικά του συστήματος ηλεκτρικού φωτισμού εισήχθησαν από τον Edison: η δυνατότητα να ανοιγοκλείνει κανείς τους διακόπτες ανεξάρτητα από τους άλλους καταναλωτές και η ύπαρξη μετρητών σε κάθε μονάδα κατανάλωσης ρεύματος. Το 1882 ο Edison εγκατέστησε τον πρώτο εμπορικό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη Νέα Υόρκη.

2.5 Οι απαρχές των τηλεπικοινωνιών

Μια άλλη σημαντική εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών ερευνών ήταν οι ραδιοεπικοινωνίες, που αναπτύχθηκαν με βάση το έργο του J.C. Maxwell. Ο ίδιος ο Maxwell δεν έδειχνε ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τεχνολογικές εφαρμογές. Τα πειραματικά θεμέλια της ασύρματης τηλεγραφίας τέθηκαν από τη δουλειά του H. Hertz. Στόχος του Hertz ήταν η επιβεβαίωση της πρόβλεψης του Maxwell ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός. Η συσκευή που επινόησε, για να πραγματοποιήσει αυτό το στόχο, αποτελούνταν από ένα επαγωγικό πηνίο, στο οποίο δημιουργούσε σπινθήρες, και από ένα συρμάτινο βρόχο, και λειτουργούσε ως ανιχνευτής των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η δημιουργία σπινθήρα είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, τα οποία όταν έφταναν στο βρόχο, προκαλούσαν την ταλάντωση των φορτίων του βρόχου και τη δημιουργία ενός σπινθήρα στο διάκενο. Ο Hertz δεν ενδιαφέρθηκε για τις πρακτικές εφαρμογές της ανακάλυψής του.

Όμως, το 1892 ο Άγγλος φυσικός Sir W. Crookes δημοσίευσε ένα εκλαϊκευτικό άρθρο για τις προοπτικές που άνοιγε η ανακάλυψη του Hertz. Μία από αυτές, και μάλιστα άμεσα υλοποιήσιμη, ήταν η δημιουργία ενός ασύρματου τηλεγραφικού συστήματος. Το 1892 ήταν χρονιά-σταθμός στην ανάπτυξη της ασύρματης επικοινω-

νίας. Έως τότε η πειραματική έρευνα γύρω από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είχε ως κύριο στόχο τον έλεγχο της θεωρίας του Maxwell. Από εκείνη τη χρονιά και μετά, η πειραματική έρευνα επικεντρώθηκε στην εφεύρεση και στη βελτίωση ασύρματων συστημάτων επικοινωνίας.

Παρόμοια πειράματα με του Hertz, περίπου την ίδια εποχή, έκανε ο Άγγλος φυσικός Sir O. Lodge (Λοντζ, 1851-1940). Το 1894 στην ετήσια συνάντηση της *Βρετανικής Εταιρείας για την Προαγωγή της Επιστήμης* κατάφερε να στείλει σήματα σε μια απόσταση εξήντα μέτρων. Όμως ο Lodge δεν είχε επιχειρηματικό πνεύμα και δεν ανέπτυξε εμπορικά την ιδέα της ασύρματης επικοινωνίας. Αυτό έγινε από τον G. Marconi (Μαρκόνι, 1874-1937). Το 1894 με τη βοήθεια του A Righi (Ρίγκι), φυσικού στο Πανεπιστήμιο της Bologna, κατασκεύασε μια διάταξη για την ασύρματη μετάδοση σημάτων. Ένα χρόνο αργότερα πέτυχε να στείλει ένα σήμα σε απόσταση 1,5 μιλίου. Η γνώση φυσικής που είχε ήταν περιορισμένη και οι έρευνές του δε βασίζονταν σε θεωρητικές γνώσεις αλλά σε εμπειρικές δοκιμές, οι οποίες, - ανάμεσα σε άλλα - οδήγησαν και στη σχεδίαση κεραιών.

Έχοντας πειστεί ότι η εφεύρεσή του ήταν εμπορικά εκμεταλλεύσιμη, πήγε στην Αγγλία το 1896 και κατοχύρωσε, μέσω μιας πατέντας, τη μέθοδο που είχε επινοήσει για την ασύρματη μετάδοση σημάτων. Το 1897 ίδρυσε την *Εταιρεία Ασύρματου Τηλέγραφου και Σήματος*. Η αγορά στην οποία απευθυνόταν αυτή η εταιρεία ήταν αρχικά ο βρετανικός στρατός και το βρετανικό ναυτικό, και στη συνέχεια η ναυτιλιακή βιομηχανία - προφανώς επειδή η ραδιοεπικοινωνία έδινε τη δυνατότητα επικοινωνίας του πλοίου με την ακτή.

Αυτό που κυρίως απασχολούσε τον Marconi ήταν η αύξηση της απόστασης μετάδοσης ενός σήματος. Το 1900 η μέγιστη απόσταση μετάδοσης ενός σήματος ήταν 150 μίλια. Ένα χρόνο αργότερα με έναν πομπό μεγάλης ισχύος και με πολύ μεγάλες κεραίες μπόρεσε να στείλει σήματα που διέσχισαν τον Ατλαντικό Ωκεανό.

Αν και στην περίπτωση του Marconi η τεχνολογική πρόοδος δε βασίστηκε άμεσα στην επιστημονική γνώση, το 1909 απονεμήθηκε σ' αυτόν και στο Γερμανό F. Braun (Μπράουν)το Νόμπελ φυσικής, επειδή, σύμφωνα με τα λόγια της επιτροπής, είχε «την ικανότητα να διαμορφώσει το όλο πράγμα [το έργο των Faraday, Maxwell και Hertz] σε ένα σύστημα πρακτικό και εύχρηστο».

2.6 Η χημική βιομηχανία

Εκτός από τον ηλεκτρομαγνητισμό, σημαντικές τεχνολογικές εφαρμογές είχε και η χημεία. Οι πρώτες εφαρμογές της αφορούσαν τη γεωργία. Εδώ ιδιαίτερα σημαντικό ήταν το έργο του Γερμανού χημικού J. von Liebig (Λίμπιχ), καθηγητή στο Πανε-

πιστήμιο του Giessen. Πριν από το Liebig οι χημικοί θεωρούσαν ότι η ευφορία του εδάφους εξαρτάται από τα οργανικά συστατικά του. Ο Liebig σε ένα ιδιαίτερα σημαντικό βιβλίο με τίτλο *Οργανική Χημεία στην Εφαρμογή της στη Γεωργία και Φυσιολογία* (1840) υποστήριξε ότι η ευφορία του εδάφους είναι συνάρτηση των μεταλλευμάτων που περιέχει και ιδιαίτερα των αλκαλικών μεταλλευμάτων (ποτάσα, ασβέστιο, μαγνήσιο). Αυτό ανέδειξε τη σημασία των μεταλλικών λιπασμάτων. Το βιβλίο αυτό μεταφράστηκε το 1841 στην Αμερική και έδωσε ιδιαίτερη ώθηση στη γεωργική χημεία.

Μια άλλη περιοχή στην οποία συνέβαλε σημαντικά η χημική έρευνα, ήταν η βιομηχανία συνθετικών βαφών. Το 1856 ο Άγγλος χημικός W.H. Perkin (Πέρκιν) ανακάλυψε τυχαία μια μοβ ουσία, που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν βαφή, και δημιούργησε ένα εργοστάσιο παρασκευής αυτής της βαφής. Τα επόμενα χρόνια νέες συνθετικές βαφές εφευρέθηκαν στη Γαλλία και στη Γερμανία και άρχισαν να παρασκευάζονται από διάφορες εταιρείες. Επίσης, η κατανόηση της δομής των οργανικών ενώσεων από τον A. Kekulé (Κεκουλέ, 1858) και η δυνατότητα οπτικής αναπαράστασης της δομής των μορίων οδήγησαν στη σύνθεση νέων βαφών και στη δημιουργία νέων υλικών.

Η συνειδητοποίηση ότι η θεωρητική και η πειραματική έρευνα μπορούν να συμβάλουν στην τεχνολογική ανάπτυξη οδήγησε, στη δεκαετία του 1870, στη δημιουργία των πρώτων ερευνητικών εργαστηρίων σε βιομηχανίες που ιδρύθηκαν από γερμανικές χημικές βιομηχανίες (BASF, Hoechst) οι οποίες στη δεκαετία του 1880 έφτασαν να απασχολούν πολλούς χημικούς. Κάτι αντίστοιχο καθυστέρησε να συμβεί στην Αγγλία και στις Η.Π.Α., όπου η βιομηχανική έρευνα αναδύθηκε στο πλαίσιο της ηλεκτρικής βιομηχανίας. Ο Edison είχε ιδρύσει ένα εργαστήριο το 1876 στο Menlo Park του New Jersey· το πρώτο όμως βιομηχανικό εργαστήριο μεγάλης κλίμακας ιδρύεται το 1900 από τη General Electric στη Schenectady (Νέα Υόρκη). Την επόμενη χρονιά το ίδιο κάνουν και δύο φαρμακευτικές εταιρείες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι παρά τη δημιουργία των βιομηχανικών εργαστηρίων οι περισσότερες εφευρέσεις εξακολούθησαν να γίνονται από μεμονωμένους εφευρέτες.

3 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ ΣΤΟΝ 20ό ΑΙΩΝΑ

3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Τον 20ό αι. γίνονται εντονότερες κάποιες τάσεις που παρατηρούνται στην εξέλιξη της τεχνολογίας ήδη από το 19ο αιώνα.

Πρώτο, μεταβάλλεται η διαδικασία παραγωγής προϊόντων. Το 1913 εμφανίζο-

νται οι πρώτες κινούμενες γραμμές συναρμολόγησης στα εργοστάσια του Ford στο Detroit, όπου η παραγωγή αυτοκινήτων χαρακτηρίζεται από το γεγονός ότι ο κάθε εργάτης συναρμολογεί ένα μικρό μόνο τμήμα του τελικού προϊόντος με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους παραγωγής.

Δεύτερο, αναδύεται ένα πρόγραμμα επιστημονικού μάνατζμεντ της παραγωγής, που αρχικά επινοήθηκε από τον F. Taylor (Τέιλορ). Στόχος αυτού του προγράμματος ήταν η πλήρης τυποποίηση της διαδικασίας παραγωγής. Η παραγωγή ενός προϊόντος αναλύεται σε καθορισμένα στάδια, και οι εργασίες που απαιτούνται από τους εργάτες απλοποιούνται και τυποποιούνται.

Τρίτο, η αλληλεπίδραση επιστήμης, τεχνολογίας και στρατού γίνεται ολοένα και εντονότερη εξαιτίας των δύο παγκόσμιων πολέμων. Η σχέση επιστήμης - τεχνολογίας - στρατού γίνεται ιδιαίτερα στενή στο Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο (1939-1945). Πολλές νέες τεχνολογίες (το ραντάρ, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής) προέκυψαν στο πλαίσιο στρατιωτικών προγραμμάτων κατά τη διάρκεια αυτού του πολέμου. Επίσης, η «επιτυχημένη» έκβαση του προγράμματος Μανχάταν για την κατασκευή της ατομικής βόμβας οδήγησε στην παραγωγή πυρηνικής ενέργειας και για ειρηνικούς σκοπούς. Ο ρόλος του στρατού παρέμεινε καθοριστικός και στη μεταπολεμική εξέλιξη της τεχνολογίας.

Ένα τέταρτο χαρακτηριστικό της τεχνολογικής εξέλιξης στον 20ό αι. είναι η εμφάνιση ολοένα και πιο συστηματικών τεχνολογικών εφαρμογών της «καθαρής» επιστημονικής έρευνας. Η κατανόηση του μικρόκοσμου στις πρώτες δεκαετίες του αιώνα οδηγεί σε σημαντικές τεχνολογικές καινοτομίες, όπως τη σύνθεση νέων υλικών, τη δημιουργία του τρανζίστορ και την ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής. Η κατανόηση της συμπεριφοράς της ύλης σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, περίπου την ίδια εποχή, βρίσκει σημαντικές εφαρμογές στην τεχνολογία ψύξης (ψυγεία, κλιματιστικά), αναδιαμορφώνει τον τρόπο παραγωγής και διανομής τροφίμων και αλλάζει τον τρόπο διατροφής εκατομμυρίων ανθρώπων.

Επίσης, μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα διάσταση της ιστορίας της τεχνολογίας στον 20ό αι. είναι η ανάπτυξη νέων υλικών. Η ανάπτυξη της φυσικής της στερεάς κατάστασης και η μεγάλη εμπειρία σχετικά με τις ιδιότητες και τη χημική συμπεριφορά των μεγάλων μορίων, η οποία στο μεταξύ είχε συσσωρευτεί, οδήγησαν όχι μόνο στην κατασκευή ενός μεγάλου αριθμού συνθετικών υλικών αλλά και στην εφεύρεση νέων. Ανάμεσα στα τελευταία συγκαταλέγεται και το νάιλον, το οποίο αντικατέστησε πολλά φυσικά υλικά. Οι διαδικασίες που οδήγησαν στην τελειοποίηση του νάιλον αναπτύχθηκαν από τον Αμερικανό χημικό W. Carothers (Καράδερς) στη δεκαετία του 1930. Το νάιλον υπήρξε το πρώτο από μια σειρά συνθετικών υλικών χαμηλού κόστους, τα οποία γνώρισαν έκτοτε ευρεία διάδοση.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε μερικά σημαντικά τεχνολογικά επιτεύγματα του 20ού αιώνα. Θα επικεντρωθούμε στις μεταφορές, στην ηλεκτρονική και στην παραγωγή ενέργειας.

3.2 Μεταφορές: αυτοκίνητο, αεροπλάνο

Το πρώτο αυτοκίνητο κατασκευάστηκε το 1886, όταν ο G. Daimler (Ντέμλερ) τοποθέτησε μια μηχανή εσωτερικής καύσης σε ένα πλαίσιο με τέσσερις τροχούς. Ο C. Benz (Μπενζ), ανεξάρτητα από τον Daimler, κατασκεύασε ένα τρίτροχο αυτοκίνητο. Αυτά συνέβησαν στη Γερμανία. Στις Η.Π.Α. κατασκευάστηκε το πρώτο «κάρο χωρίς άλογο» το 1891.

Στα πρώτα αυτοκίνητα Δε χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά μηχανές εσωτερικής καύσης αλλά και ατμομηχανές και ηλεκτρικές μηχανές. Το 1900 στις Η.Π.Α. σε σύνολο 4192 αυτοκινήτων το 40% κινούνταν με ατμό, το 38% ήταν ηλεκτρικά, και το 22% βενζινοκίνητα. Όμως σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα (5 έτη) οι μηχανές εσωτερικής καύσης είχαν καθιερωθεί. Είναι δύσκολο να ερμηνευθεί η επικράτηση της μηχανής εσωτερικής καύσης, επειδή δεν υπερτερούσε σαφώς έναντι των άλλων. Αυτοκίνητα που κινούνταν με ατμό συνέχισαν να κατασκευάζονται έως και τη δεκαετία του 1920.

Στην πρώτη δεκαετία του 20ού αι. την πρωτοπορία στην αυτοκινητοβιομηχανία την είχαν οι Γάλλοι. Στη συνέχεια, όμως, μετά τις καινοτομίες που εισήγαγε ο Henry Ford (1863-1947), αυτή περνά στους Αμερικανούς. Ο Ford είχε αρχίσει να κατασκευάζει αυτοκίνητα από το 1896. Το 1903 ιδρύει τη Ford Motor Company και στη συνέχεια επεδίωξε να κατασκευάσει ένα αυτοκίνητο που να απευθύνεται σε λαϊκά στρώματα μέσου και ενδεχομένως χαμηλού εισοδήματος. Το αποτέλεσμα ήταν η κατασκευή του μοντέλου Τ το 1908. Το μοντέλο αυτό ξεκινούσε με μανιβέλα, είχε 20 ίππους, κιβώτιο δύο ταχυτήτων και όπισθεν. Ήταν γερό, εύχρηστο και εύκολο να συντηρηθεί. Το μοντέλο Τ συνέχισε να παράγεται έως το 1927.

Το αυτοκίνητο δε δημιουργήθηκε εξαιτίας κάποιας ανάγκης. Αρχικά τα αυτοκίνητα χρησίμευαν κυρίως για ψυχαγωγία. Ήταν «παιχνίδια» που απευθύνονταν σε πολύ περιορισμένο αγοραστικό κοινό το οποίο είχε την οικονομική δυνατότητα να τα αγοράσει. Η ανάγκη για το αυτοκίνητο ως μέσο μεταφοράς δημιουργήθηκε πολύ μετά την εφεύρεση τους. Σύμφωνα με τον ιστορικό του αυτοκινήτου J.J. Flink, από το 1907 και μετά οι Αμερικανοί άρχισαν να θεωρούν το αυτοκίνητο ως βασική ανάγκη. Το 1910 κυκλοφορούσαν στις Η.Π.Α, που ήταν και η μεγαλύτερη αγορά αυτοκινήτου, περίπου 500.000 αυτοκίνητα. Η συγκλονιστική ανάπτυξη της αυτοκινητοβιομηχανίας επηρέασε την ανάπτυξη των λεωφορείων και των φορτηγών, και αυτό

οδήγησε στην κατασκευή μεγάλων οδικών δικτύων.

Σημαντικές αλλαγές στις μεταφορές έφερε και η εφεύρεση του αεροπλάνου. Το πρώτο αεροπλάνο εφευρέθηκε από τους αδελφούς Orville (1871-1948) και Wilbur Wright (Ράιτ, 1867-1912). Στις 17 Δεκεμβρίου 1903, στη Βόρεια Καρολίνα, κατάφεραν να πετάξουν σε μια απόσταση 36 μέτρων, που την κάλυψαν σε 12 δευτερόλεπτα με ένα αεροπλάνο με δύο προπέλες. Την ίδια μέρα έκαναν κι άλλες πτήσεις, αυξάνοντας την απόσταση και το χρόνο της πτήσης (240 μέτρα, 1 λεπτό).

Το 1905 έγιναν οι πρώτες πτήσεις με επιβάτες. Πριν από τον Α· Παγκόσμιο Πόλεμο τον πρώτο ρόλο στην τεχνολογική εξέλιξη της αεροπλοΐας τον είχε η Γαλλία. Την ίδια εποχή εγκαθιδρύθηκαν στη Γερμανία αεροπορικές συνδέσεις μεταξύ των μεγάλων πόλεων και έως το 1914 είχαν μεταφερθεί με ασφάλεια περισσότεροι από 42.000 επιβάτες.

Ο Α΄ Παγκόσμιος Πόλεμος (1914-1918) υπήρξε καταλυτικός για την ανάπτυξη των αερομεταφορών. Πριν από το 1914 ο αριθμός των αεροπλάνων στις Η.Π.Α. ήταν πολύ μικρός (49 αεροπλάνα). Στο τέλος του πολέμου υπήρχαν στις Η.Π.Α. 14.000 αεροπλάνα! Στο μεσοπόλεμο δόθηκε ιδιαίτερη ώθηση στις αερομεταφορές από τις ταχυδρομικές υπηρεσίες. Το αεροπλάνο εξελίχθηκε σε ένα σημαντικό μέσο για τη μεταφορά της αλληλογραφίας. Την ίδια εποχή εμφανίσθηκαν και οι πρώτες αεροπορικές εταιρείες. Στη δεκαετία του 1930 οι αερομεταφορές εξελίχθηκαν με ταχύτατους ρυθμούς στις Ηνωμένες Πολιτείες. Μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο οι στροβιλοφόροι κινητήρες αερίων (turbojet) έγιναν η κύρια κινητήρια δύναμη των αεροπλάνων και αντικατέστησαν τις μηχανές που λειτουργούσαν με προπέλες και πιστόνια.

3.3 Ηλεκτρονική: λυχνίες, τρανζίστορ, υπολογιστές

Η λυχνία προέκυψε αρχικά ως παράγωγο προϊόν της λάμπας πυράκτωσης. Μια μορφή λυχνίας, η δίοδος, εφευρέθηκε από τον J.A. Fleming το 1904 στην Αγγλία. Αποτελούνταν από ένα γυάλινο κενό σωλήνα με δύο ηλεκτρόδια, την κάθοδο και την άνοδο. Η λειτουργία της βασιζόταν στο φαινόμενο της θερμιονικής εκπομπής. Η θέρμανση της καθόδου είχε ως αποτέλεσμα την εκπομπή ηλεκτρονίων, τα οποία προσελκύονταν από τη θετικά φορτισμένη άνοδο. Η λυχνία μπορούσε να μετατρέψει το εναλλασσόμενο ρεύμα που δημιουργούσαν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στις κεραίες σε συνεχές. Το ρεύμα αυτό, κατάλληλα διαμορφωμένο, μπορούσε διαμέσου ενός ακουστικού να μετατραπεί σε ήχο.

Οι δίοδοι αντικαταστάθηκαν πολύ γρήγορα από τους κρυσταλλικούς ανιχνευτές. Αυτές οι ουσίες είχαν ανακαλυφθεί το 1870 από το Γερμανό φυσικό F. Braun και

επέτρεπαν την αγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος προς μία μόνο κατεύθυνση. Οι κρυσταλλικοί ανιχνευτές ήταν πολύ φθηνοί και αξιόπιστοι.

Την τριοδική λυχνία την εφηύρε το 1906 ο Lee de Forest. O de Forest (Φόρεστ) τοποθέτησε ένα πλέγμα από λεπτό σύρμα μεταξύ της ανόδου και της καθόδου. Μεταβάλλοντας την τάση αυτού του πλέγματος μπορούσε να ελέγχει τη ροή των ηλεκτρονίων διαμέσου του πλέγματος και, επομένως, την ένταση του ρεύματος στην τριοδική λυχνία. Έτσι, η τριοδική λυχνία μπορούσε να ενισχύει ένα ασθενές εισερχόμενο σήμα και, επομένως, ήταν σε θέση να επεκτείνει, π.χ., σημαντικά το εύρος της ασύρματης τηλεγραφίας. Το 1910 ο de Forest χρησιμοποιώντας τριοδικές λυχνίες δημιούργησε ένα σύστημα ασύρματης τηλεφωνίας.

Ένας από τους κύριους χώρους εφαρμογής της λυχνίας ήταν η βιομηχανία ραδιοφώνου, που αναπτύχθηκε με γρήγορους ρυθμούς στις τρεις πρώτες δεκαετίες του 20ού αιώνα. Στη δεκαετία του 1930, χάρη σ' αυτή την ανάπτυξη σχεδόν όλα τα σπίτια στις ανεπτυγμένες χώρες είχαν ένα ραδιόφωνο.

Στη δεκαετία του 1930 διαπιστώθηκε ότι οι ηλεκτρονικές λυχνίες δεν μπορούσαν να ανιχνεύσουν ραδιοκύματα με μικρό μήκος κύματος. Τέτοιου είδους ραδιοκύματα μπορούσαν να ανιχνευτούν με κρυσταλλικούς ανιχνευτές. Οι έρευνες γύρω από αυτούς τους ανιχνευτές εντάθηκαν λόγω της εφεύρεσης του ραντάρ στο Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Από αυτούς τους ανιχνευτές μικροκυμάτων έγινε η μετάβαση στο πρώτο τρανζίστορ. Το τρανζίστορ εφευρέθηκε το 1948 στα εργαστήρια Bell στο New Jersey και ήταν αποτέλεσμα θεωρητικών και πειραματικών ερευνών στη φυσική στερεάς κατάστασης. Γι' αυτό το λόγο οι εφευρέτες του J. Bardeen (Μπαρντίν), W.H. Brattain (Μπράτεϊν) και W. Shockley (Σόκλεϊ) πήραν το βραβείο Νόμπελ το 1956. Η εμπορική εκμετάλλευση των τρανζίστορ ξεκίνησε στη δεκαετία του 1950, όταν η ιαπωνική εταιρεία Sony (που ιδρύθηκε μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο ως Tokyo Telecommunications) κατασκεύασε το πρώτο ραδιόφωνο με βάση το τρανζίστορ.

Μια από τις πιο σημαντικές εφαρμογές των τρανζίστορ ήταν στην κατασκευή ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η ιδέα μιας υπολογιστικής μηχανής είχε ήδη διατυπωθεί από τον Πασκάλ το 1642 και σε δύο χρόνια είχε κατασκευάσει μια μηχανή, για να βοηθάει τον πατέρα του που ήταν εφοριακός. Το 19ο αι. ο Ch. Babbage (Μπάμπατζ) πρότεινε μια μηχανή για τον υπολογισμό μαθηματικών πινάκων (1823) και μια άλλη για την εκτέλεση πολύπλοκων αριθμητικών και αλγεβρικών υπολογισμών. Αυτές οι μηχανές, όμως, δεν υλοποιήθηκαν ποτέ.

Στον 20ό αιώνα τα κίνητρα για τη δημιουργία υπολογιστών ήταν στρατιωτικής υφής: 1) η εκτέλεση περίπλοκων υπολογισμών, που ήταν απαραίτητοι για τη σχεδίαση αεροσκαφών, πυραύλων, καθώς και της ατομικής βόμβας, 2) η αποκρυπτογράφηση των κωδικοποιημένων στρατιωτικών μηνυμάτων, και 3) ο υπολογισμός

βαλλιστικών πινάκων, που ήταν χρήσιμοι στο πυροβολικό.

Ο Κ. Zuse (Ζους) κατασκεύασε μια σειρά από υπολογιστές αρχικά μηχανικούς (1934) στη συνέχεια ηλεκτρομηχανικούς (1936) και τελικά ηλεκτρικούς (1939, 1941). Από το 1941 και μετά χρηματοδοτήθηκε από το *Γερμανικό Αεροναυτικό Ινστιτούτο*. Οι υπολογιστές του χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή αεροσκαφών και πυραύλων.

Πολύ σημαντική μορφή στην ιστορία των ηλεκτρονικών υπολογιστών ήταν ο Βρετανός μαθηματικός Alan Turing (Τούρινγκ, 1912-54). Το 1934 ο Turing είχε ήδη συλλάβει και διατυπώσει την ιδέα μιας υπολογιστικής μηχανής στο πλαίσιο μιας μαθηματικής εργασίας, στην οποία απέδειξε ότι υπάρχουν κάποια μαθηματικά προβλήματα που είναι αδύνατον να λυθούν. Στο Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο ο Turing εργάστηκε στη βρετανική αντικατασκοπία με στόχο την αποκρυπτογράφηση των τηλεπικοινωνιακών μηνυμάτων των εχθρικών δυνάμεων. Στο πλαίσιο αυτής της έρευνας ένας συνεργάτης του Turing, ο M.H.A. Newman (Νιούμαν), συνέλαβε την ιδέα ότι αυτός ο στόχος θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη βοήθεια ηλεκτρονικών μηχανών. Κατασκευάστηκαν έτσι μια σειρά από τέτοιες μηχανές. Ο Turing συνεισέφερε στη λογική σχεδίαση αυτών των μηχανών. Το τελικό προϊόν αυτής της προσπάθειας ήταν μια τεράστια μηχανή (το όνομα της είναι ενδεικτικό: Mark II Colossus, 1944), που περιείχε 2500 λυχνίες!

Στις Η.Π.Α. κατά τη διάρκεια του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου οι J. Mauchly (Μόχλυ) και J.P. Eckert (Έκερτ), στο Πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια, επίσης κατασκεύασαν έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, το λεγόμενο ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator, 1943-1946). Στόχος αυτού του υπολογιστή ήταν η εκτέλεση βαλλιστικών υπολογισμών για τον αμερικανικό στρατό. Ο ENIAC περιείχε χιλιάδες αντιστάσεις και 18.000 λυχνίες! Το μεγάλο μειονέκτημά του ήταν ότι ο προγραμματισμός του απαιτούσε σημαντικές επεμβάσεις στις ηλεκτρονικές διατάξεις του. Οι Mauchly και Eckert, καθώς και ο διάσημος μαθηματικός John von Neumann (Νόιμαν, 1904-1957), αντιλήφθηκαν ότι αυτή η δυσκολία θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί, εάν το πρόγραμμα αποθηκευόταν στη μνήμη του υπολογιστή. Αυτή η ιδέα υλοποιήθηκε το 1951 από τους Mauchly και Eckert με την κατασκευή του EDVAC (Electronic Discrete Variable Calculator).

Οι Mauchly και Eckert υπήρξαν πρωτοπόροι και στην εμπορική εκμετάλλευση των υπολογιστών. Μετά το Β· Παγκόσμιο Πόλεμο ίδρυσαν μια εταιρεία για αυτό το σκοπό και, μετά από μια εμπορικά αποτυχημένη απόπειρα, κατασκεύασαν έναν υπολογιστή, τον UNIVAC (Universal Automatic Computer), που γνώρισε μεγάλη εμπορική επιτυχία.

Η χρήση τρανζίστορ στην κατασκευή υπολογιστών ξεκίνησε το 1953. Είχε μεγά-

λα πλεονεκτήματα έναντι της λυχνίας: μικρότερο μέγεθος, μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, μικρότερες θερμικές απώλειες, μεγαλύτερη αξιοπιστία και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Γι' αυτούς τους λόγους κυριάρχησε γρήγορα.

Όπως είδαμε, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής ήταν προϊόν του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου. Το ίδιο ισχύει και για την πυρηνική ενέργεια, στην οποία θα αναφερθούμε στη συνέχεια.

3.4 Πυρηνική ενέργεια

Η πυρηνική βιομηχανία είναι παρα-προϊόν της κατασκευής της ατομικής βόμβας. Το 1938 η πειραματική έρευνα των O. Hahn (Χαν) και F. Strassman (Στράσμαν) στο Βερολίνο έδειξε ότι ένας πυρήνας ουρανίου μπορούσε να διασπαστεί, αν βομβαρδιζόταν με ένα νετρόνιο (που είχε ανακαλυφθεί το 1932). Τον Οκτώβριο του 1939 ο Ούγγρος φυσικός L. Szilard (Ζιλάρντ) συνέταξε μια επιστολή προς τον πρόεδρο τον Η.Π.Α. F.D. Roosevelt (Ρούσβελτ), την οποία υπέγραψε και ο Albert Einstein. Σ' αυτή την επιστολή ανέφερε ότι η ανάπτυξη της πυρηνικής φυσικής έδινε τη δυνατότητα κατασκευής ενός νέου είδους βόμβας με τεράστια ισχύ και ότι οι Γερμανοί είχαν τις επιστημονικές γνώσεις για την κατασκευή της. Καθώς υπήρχε ένας διάχυτος φόβος ότι η Γερμανία θα αποκτούσε πρώτη ένα τέτοιο όπλο, δημιουργήθηκε ένα σχέδιο, το σχέδιο Μανχάταν, με στόχο την κατασκευή μιας τέτοιας βόμβας. Το 1942 η διεύθυνση του προγράμματος Μανχάταν ανατέθηκε στον αμερικανικό στρατό.

Στο πρόγραμμα αυτό, η έδρα του οποίου βρισκόταν σε μια απομονωμένη περιοχή της Πολιτείας του Νέου Μεξικού των Η.Π.Α., το Los Alamos, απασχολήθηκαν περισσότερα από 100.000 άτομα, στα οποία συμπεριλαμβάνονται φυσικοί, μαθηματικοί, χημικοί, μηχανικοί, τεχνικοί αλλά και κάθε είδους στρατιωτικό προσωπικό, το οποίο ανέλαβε τις οικοδομικές και άλλες εργασίες. Για την κατασκευή της ατομικής βόμβας, που εξερράγη για πρώτη φορά στις 16 Ιουλίου 1945 στην έρημο του Alamogordo στην Πολιτεία του Νέου Μεξικού και κόστισε πάνω από δύο δις δολάρια, εργάστηκαν σχεδόν όλοι οι γνωστοί φυσικοί της Αμερικής και ορισμένοι από την Αγγλία. Επικεφαλής του επιστημονικού συντονισμού ήταν ο Robert Oppenheimer (Οπενχάιμερ, 1904-1967). Αργότερα, το 1949, ο Oppenheimer αρνήθηκε να συμμετάσχει στην κατασκευή της βόμβας υδρογόνου και κατηγορήθηκε από τις αρχές ότι διατηρούσε σχέσεις με το Κομμουνιστικό Κόμμα και ότι γνώριζε την ύπαρξη κατασκόπων της Σοβιετικής Ένωσης, αλλά δεν τους κατονόμαζε. Μεγάλος αριθμός επιστημόνων, με επικεφαλής τον Einstein, υποστήριξαν με επιστολές τους το δικαίωμα ενός δημόσιου λειτουργού, και - σ' αυτή την περίπτωση - ενός προβεβλημένου επιστήμονα, όπως ήταν ο Oppenheimer, να διαφωνεί δημόσια με τις επι-

λογές της κυβέρνησης. Παρά το γεγονός ότι ο Oppenheimer αθωώθηκε από το δικαστήριο, η κυβέρνηση των Η.Π.Α. τον απέλυσε από τις διάφορες θέσεις συμβούλου που είχε. Ας σημειωθεί ότι ο Einstein, όπως και πολλοί άλλοι, που αρχικά ήταν υπέρ της κατασκευής της ατομικής βόμβας, όταν συνειδητοποίησε τις τόσο καταστροφικές συνέπειές της, μετατράπηκε σε άσπονδο πολέμιό της.

Η επιτυχημένη έκβαση του προγράμματος Μανχάταν και η κατασκευή της βόμβας επηρέασαν καθοριστικά τη μετέπειτα εξέλιξη των φυσικών επιστημών. Άρχισαν να χρηματοδοτούνται τεράστια ερευνητικά προγράμματα, ιδιαίτερα στη φυσική των στοιχειωδών σωματιδίων, με προϋπολογισμούς πολλών εκατομμυρίων δολαρίων, που απαιτούσαν τη συνεργασία εκατοντάδων επιστημόνων και τεχνικών. Η πειραματική πρακτική μεταβλήθηκε σταδιακά σε συλλογική δραστηριότητα. Ο απομονωμένος επιστήμονας, που εκτελεί πειράματα «πάγκου» στο εργαστήριό του αποτελεί πια φιγούρα του παρελθόντος.

Η γνώση που αποκτήθηκε κατά τη διάρκεια του προγράμματος Μανχάταν χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας. Ένα σοβαρό τεχνικό πρόβλημα που έπρεπε να λυθεί για την κατασκευή της βόμβας, ήταν ή απομόνωση του ισοτόπου του ουρανίου U-235, της εκρηκτικής ουσίας που θα υπήρχε στην ατομική βόμβα. Αυτή η διαδικασία έλαβε χώρα σε μεγάλες βιομηχανικές μονάδες διαχωρισμού ισοτόπων. Το ισότοπο του ουρανίου U-235 χρησιμοποιήθηκε ως καύσιμο στους πυρηνικούς αντιδραστήρες μετά το Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο.

Ο πρώτος πυρηνικός αντιδραστήρας αποτελούνταν από γραφίτη και από ουράνιο, και δημιουργήθηκε, στο πλαίσιο του προγράμματος Μανχάταν, το 1942 υπό την εποπτεία του E. Fermi (Φέρμι) στο Πανεπιστήμιο του Σικάγο. Αν και ο στόχος αυτού και παρόμοιων αντιδραστήρων δεν ήταν η παραγωγή ενέργειας, η εμπειρία που αποκτήθηκε από την κατασκευή και τη λειτουργία τους είχε μεγάλη σημασία για τη βιομηχανία πυρηνικής ενέργειας.

Άλλο σημείο αφετηρίας για την παραγωγή πυρηνικής ενέργειας ήταν η χρήση πυρηνικών αντιδραστήρων στα πλοία και στα υποβρύχια του αμερικανικού ναυτικού. Η θερμότητα που παραγόταν από τις ελεγχόμενες πυρηνικές αντιδράσεις σε έναν αντιδραστήρα χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή ατμού, ο οποίος με τη σειρά του κινούσε τις τουρμπίνες του πλοίου ή του υποβρυχίου. Στο σχεδιασμό και την εξέλιξη των πυρηνικών συστημάτων προώθησης σημαντικό ρόλο έπαιξε ο ναύαρχος H.G. Rickover (Ρίκοβερ), ο οποίος μεταξύ άλλων επέλεξε τον αντιδραστήρα του πρώτου πυρηνικού υποβρυχίου (USS *Nautilus*, 17 Ιανουαρίου 1955).

Σε έναν πυρηνικό αντιδραστήρα υπάρχουν συγκεκριμένοι περιορισμοί. Η πυρηνική αντίδραση πρέπει να διατηρείται υπό έλεγχο και η θερμοκρασία του πυρήνα του αντιδραστήρα να μην υπερβαίνει κάποιο επίπεδο. Η θερμική ενέργεια που πα-

ράγεται στον αντιδραστήρα μεταφέρεται με κάποιο ψυκτικό μέσο για την παραγωγή έργου. Το 1950 υπήρχαν τέσσερις δυνατότητες για την απαγωγή της θερμότητας από τον πυρήνα του αντιδραστήρα: νερό, βαρύ νερό (οξείδιο του δευτερίου), υγρό μέταλλο, ή αέριο.

Ο Rickover επέλεξε το νερό. Αυτή η επιλογή υπαγορεύτηκε από την ύπαρξη μιας πληθώρας γνώσεων για το νερό ως φορέα μεταφοράς θερμότητας, που είχαν προκύψει από συστήματα που χρησιμοποιούσαν νερό ως ψυκτικό (ατμολέβητες, τουρμπίνες ατμού).

Πάλι με πρωτοβουλία του Rickover κατασκευάστηκε ο πρώτος αντιδραστήρας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Pennsylvania των Ηνωμένων Πολιτειών το 1954. Το 1957 η ισχύς του έφτανε τα 60 megawatts. Ο αντιδραστήρας αυτός χρησιμοποιούσε επίσης νερό ως ψυκτικό και η σχεδίασή του αποτέλεσε τη βάση για την κατασκευή αντιδραστήρων στις επόμενες δεκαετίες. Το 1988 υπήρχαν περίπου 350 αντιδραστήρες σε όλο τον κόσμο και το 70% απ' αυτούς ήταν αυτού του τύπου.

Ο αντιδραστήρας αυτού του τύπου σχεδιάστηκε αρχικά για υποβρύχια. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μη ληφθούν σοβαρά υπόψη οικονομικές παράμετροι, οι οποίες στο πλαίσιο στρατιωτικών προγραμμάτων είναι δευτερεύουσες. Είναι χαρακτηριστικό ότι στα τέλη της δεκαετίας του 1950 η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ένα πυρηνικό εργοστάσιο ήταν περισσότερο από δέκα φορές πιο ακριβή από τη συμβατική παραγωγή ενέργειας (με βάση το κάρβουνο). Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 η πυρηνική ενέργεια εξακολουθούσε να παραμένει λίγο πιο ακριβή από την ηλεκτρική ενέργεια που προκύπτει από την καύση άνθρακα.

Σ' αυτό το κεφάλαιο αλλά και στο βιβλίο συνολικά προσπαθήσαμε να παρουσιάσουμε κάποια στοιχεία από την ιστορία των επιστημών και της τεχνολογίας ως μια εισαγωγή σε ένα νέο γνωστικό αντικείμενο στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση. Κύριος στόχος μας ήταν να δείξουμε πόσο σύνθετη είναι η πορεία της ανθρώπινης σκέψης στην προσπάθειά της να κατανοήσει και να τιθασεύσει τη φύση. Συνειδητά δεν επιλέξαμε να θίξουμε την κοινωνική, την οικονομική και την ιδεολογική λειτουργία της επιστήμης και της τεχνολογίας, καθώς και τα τεράστια ηθικά προβλήματα που προκύπτουν από τη χρήση τους. Αυτά είναι πολύ σοβαρά και σημαντικά θέματα των οποίων η διερεύνηση προϋποθέτει επαρκή κατανόηση της ιστορίας της επιστήμης και της τεχνολογίας.

Ερωτήσεις

1) Ποια είναι τα γενικά χαρακτηριστικά της εξέλιξης της τεχνολογίας στο 19ο και στον 20ό αιώνα;

2) Ποιες ήταν οι πιο σημαντικές τεχνολογικές εφαρμογές της επιστημονικής έρευνας το 19ο αιώνα;

3) Ποιες ήταν οι πιο σημαντικές τεχνολογικές εφαρμογές της επιστημονικής έρευνας τον 20ό αιώνα;

4) Πώς επηρέασε ο Β΄ Παγκόσμιος Πόλεμος την εξέλιξη της τεχνολογίας στον 20ό αιώνα;